

# **EFICIÊNCIA NA LINHA DE MONTAGEM DE ESTRUTURAS E CHAPEAMENTO DE UM AUTOCARRO URBANO**

**RUI ALEXANDRE HERDEIRO MARTINS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA

Eficiência na Linha de Montagem de Estruturas de Chapeamento de um Autocarro Urbano

Rui Alexandre Herdeiro Martins

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Hermenegildo Pereira

Orientador na empresa: Dr.<sup>a</sup> Catarina Pinto



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2015-07-01

"If you cannot measure it, you cannot improve it."

(Lord Kelvin)

## Resumo

No âmbito do projeto de dissertação, em ambiente empresarial, do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, foi proposta a realização de um projeto na CaetanoBus, S.A. com o objetivo de melhorar a eficiência da Linha de Montagem de Estruturas e Chapeamento.

As alterações no mercado mundial estão a forçar cada vez mais um nível competitivo que obriga as empresas a implementar estratégias fundamentadas em modelos de gestão orientados ao cliente. Atualmente a CAETANOBUS é uma empresa estrategicamente focada no cliente com uma orientação “Engineering to Order”, fabricando produtos altamente customizados e segmentados num volume variável. Operacionalmente, estes sistemas produtivos têm linhas de montagem pouco balanceadas e com inúmeros “gargalos”. Para responder eficazmente aos desafios atuais, é pertinente eliminar o desperdício, aumentar a flexibilidade operacional para melhorar a eficiência global. A partir de um estudo de caso numa linha de montagem de estruturas e chapeamento de um autocarro urbano, ilustram-se duas estratégias para aumento da eficiência de uma linha de montagem de estruturas e chapeamento pelo balanceamento da linha de montagem pela heurística do maior tempo e a implementação de melhorias. Os resultados evidenciam um aumento da eficiência da linha de montagem em, 24%.

Palavras-chave: Tempos e Métodos; Balanceamento; Linha de Montagem; Melhoria Contínua; Eficiência; Heurística do Maior Tempo

## Abstract

In the context of a dissertation project of the Integrated Master in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, was carried a project in CaetanoBus, SA in order to improve the efficiency of the Assembly Line of Structures and Plating Production Sections of a city bus.

Changes in the global market are pushing a competitive level that forces companies to implement strategies based Customer-Order-Based Management (COBM). CAETANOBUS is a customer-orientated company with an "Engineering to Order" bussiness model, producing highly customized products in a variable volume. Operationally, these production systems have unbalanced station workloads and frequent "bottlenecks". To respond effectively to the current challenges, it is imperative to eliminate waste, increase operational flexibility and improve overall efficiency. Using a case study on a structures assembly line of a city bus, it is shown the application of Methods-Time Measurement (MTM) to balance workloads on an assembly line by the Long Operations Time Heuristics rule. The results show an increase of 24 % in the assembly line efficiency.

Keywords: Methods-Time Measurement; Assembly Line Balancing; Continuous Improvement; Efficiency

## Agradecimentos

Esta dissertação encerra um longo processo de aprendizagem, onde tive a oportunidade desenvolver a minha capacidade reflexiva, fomentar e pôr em prática conhecimentos aprofundados sobre a área Gestão da Produção, sobretudo sobre a implementação de métodos para melhoria da eficiência das linhas de montagem.

Todo este processo foi realizado com o apoio de muitas pessoas, isto porque cada um é o reflexo dos contextos que o envolvem.

Assim, agradeço a todos os Professores que durante a minha formação me deram a oportunidade de conhecer e de aprender.

Agradeço ao meu Orientador o Professor Hermenegildo Pereira e às minhas Orientadoras na empresa, a Eng<sup>a</sup> Teresa Oliveira e a Dr.<sup>a</sup> Catarina Pinto por serem os pilares mais importantes nesta jornada.

Agradeço com muita saudade ao meu avô paterno e á minha avó materna por serem a minha maior fonte de segurança e motivação.

Agradeço com muito amor aos meus pais, por me garantiram sempre um espaço de liberdade e compreensão.

Agradeço com todo o meu coração á minha namorada, que sempre me apoiou e esteve comigo nos momentos mais alegres, mais tristes e sempre me ajudou nos mais difíceis.

Agradeço também a todos os meus amigos que acompanharam sempre a minha euforia ou a minha inquietação.

Por último, e especialmente, agradeço aos colaboradores da CAETANOBUS, sobretudo àqueles com quem tive uma relação mais próxima, por tornarem possível a realização deste trabalho.

## Conteúdo

1. Introdução .....	23
1.1. Enquadramento .....	24
1.2. Estrutura da Dissertação.....	24
2. Revisão Bibliográfica .....	25
2.1. O conceito de Eficiência e a implicação nos diferentes sistemas de produção.....	25
2.2. A Linha de montagem e os problemas de balanceamento .....	27
2.2.1. Linha de Montagem.....	27
2.2.2. Balanceamento de Linha .....	28
2.2.3. Balanceamento Lean.....	31
2.3. O Conceito Lean .....	32
2.4. Melhoria Contínua .....	33
2.5. Métodos, Técnicas e Ferramentas e Métricas Lean .....	35
2.5.1. Metodologias .....	35
2.5.1.1. Planeamento Hoshin Karin.....	36
2.5.1.2. Análise da Cadeia de Valor ou VSM.....	36
2.5.1.3. O Sistema Pull .....	37
2.5.1.4. Os Métodos Error Proofing .....	38
2.5.1.5. Metodologia TOPS/8D .....	38
2.5.1.6. A Metodologia SMED.....	38
2.5.1.7. A Gestão Visual.....	38
2.5.1.8. A Metodologia dos Six Sigma;.....	39
2.5.1.9. O Envolvimento das Pessoas.....	39
2.6. Ferramentas.....	40
2.6.1.7. FMEA ou Análise Modal de Falhas .....	40
2.6.1.8. <i>Heijunka</i> .....	40

2.6.1.9. A Normalização do Trabalho .....	40
2.6.1.10. O Kanban.....	41
2.6.1.11.O Diagrama Causa-Efeito.....	41
2.6.1.12.Fórmula 5W2H.....	42
2.7. Métricas Lean.....	42
2.7.1.1. Eficácia (E) .....	42
2.7.1.2. Disponibilidade (D) .....	42
2.7.1.3. Ocupação (O).....	42
2.7.1.4. Conformidade (Q) .....	43
2.7.1.5. Tempo de Ciclo (Tc).....	43
2.7.1.6. <i>Takt Time</i> .....	43
3. Apresentação da Empresa .....	43
3.1. História Grupo Salvador Caetano .....	43
3.2. A CaetanoBus .....	44
3.2.1. Organigrama e Organização Funcional. ....	46
3.2.2. Departamento de Engenharia de Processo e Manutenção: .....	47
3.3. Organização Layout Fabril – Linhas e Secções .....	48
3.3.1. Secção de pré Montagem de Estruturas.....	49
3.3.2. Secção de Estruturas e Chapeamento .....	49
3.3.3. Secção de Pintura.....	51
3.3.4. Secção de Acabamentos .....	51
3.3.5. Secção de Preparação de Entrega .....	52
3.3.6. Secção de Protótipos.....	52
3.4. Tipos de Linha de Montagem.....	52
Figura 23 - Linhas de Montagem CAETANOBUS .....	53
3.5. Descrição do processo produtivo .....	53
4. Contextualização do Projeto de Dissertação.....	54



4.1. Objetivos .....	55
4.2. Metodologia .....	56
5. Apresentação do problema.....	59
5.1. O Modelo Urbano A66 .....	60
5.2.Trabalho Desenvolvido .....	61
5.3. Diagnóstico Inicial .....	61
5.3.1. Observação.....	61
5.3.2. Recolha/registo de dados e informações .....	61
5.4. Análise de Dados inicial .....	62
5.4.1.Secção de Estruturas .....	62
5.5. Análise das Macros.....	65
5.6. Balanceamento das Macros Tarefas por Posto .....	70
5.7. Sequenciamento de tarefas por posto .....	72
5.8. Diagrama de Gantt.....	73
5.9. Descrição de tarefas por operador .....	74
5.10. Aplicação do método Yamazumi .....	75
5.11. Análise de tempos.....	76
5.12. Método Lean.....	77
5.13. Projetos de melhoria Contínua .....	78
5.13.2. Projetos de Melhorias no Posto 1.....	81
6. Conclusão e perspectivas futuras.....	85

## Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução dos Sistemas de Produção.....	25
Figura 2 – As prioridades competitivas e os diferentes sistemas produtivos .....	26
Figura 3 - Fronteiras da Eficiência .....	27
Figura 4 - Exemplo de Precedência de Tarefas numa Linha de Produção .....	28
Figura 5 - Categorização dos problemas de balanceamento de linha.....	29
Figura 6 - Linha de montagem Reta .....	30
Figura 7 - Linha de montagem tipo U .....	30
Figura 8 - Exemplo de um Yamazumi Chart.....	31
Figura 9 - Fases e Subfases do Ciclo PDCA .....	34
Figura 10 – Revisão das Fases do Ciclo PDCA .....	35
Figura 11 – Exemplo VSM.....	36
Figura 12 - Implementação agregada do ciclo PDCA e SDCA .....	41
Figura 13 - Carroçarias .....	45
Figura 14 - Indicadores Ano 2013 e 2014 .....	45
Figura 15- Chassis .....	45
Figura 16 - Organigrama CaetanoBus .....	47
Figura 17 - Organigrama Engenharia de Processo e Manutenção.....	48
Figura 18 - Layout .....	49
Figura 19 - Secção 4017 .....	49
Figura 20 - Secção 4001 .....	50
Figura 21 - Layout Secção de Estruturas (4001) e Chapeamento (4002).....	50
Figura 22 - Secção de Acabamentos .....	52
Figura 23 - Linhas de Montagem CAETANOBUS .....	53
Figura 24 – Quadro conceptual da metodologia seguida. ....	58
Figura 25 – Modelo Urbano A66 Barhain.....	61
Figura 26 - Folha de cronometragem e folhas registo de tempos e operações.....	62
Figura 27 – Diagrama de Precedências da Secção de Estruturas .....	63
Figura 28 - Diagrama de Precedências da Secção de Chapeamento .....	64
Figura 29 - Análise Macros Estruturas .....	66
Figura 30 - Percentagens e tempos Posto 0 .....	67
Figura 31 – Percentagem e tempos do posto 1 .....	67
Figura 32 - Percentagens e tempos Posto2 .....	67

Figura 33 - Percentagens e tempos Posto 3 .....	68
Figura 34 - Percentagens e tempos Posto 4 .....	69
Figura 35 - Percentagens e tempos Posto 5 .....	69
Figura 36 - Eficiência Operacional Inicial .....	70
Figura 37 – Exemplo de Macro Tarefas e respectivas Micros Tarefas .....	71
Figura 38 - Análise de tempos das Micro -Tarefas – Posto 0, Preparação de Chassis.....	72
Figura 39 - Exemplo de Tarefas sequenciadas posto 0 .....	73
Figura 40 – Exemplo de Diagrama de Gantt - Posto 0.....	74
Figura 41 - Exemplo de Sequenciamento de tarefas por operador - Posto 0 .....	74
Figura 42- Exemplo de aplicação do método yamazumi no posto 0.....	75
Figura 43 - Análise de tempos sem a unidade levantada.....	76
Figura 44 - Análise de tempos com unidade levantada .....	77
Figura 45 Método Lean sem a Unidade levantada – 6 Postos de Trabalho .....	78
Figura 46 - Método Lean com a Unidade levantada – 7 Postos de Trabalho.....	78
Figura 47 – Posto de Desmontagem e Preparação de Chassis – Antes e Depois .....	80
Figura 48 – Novo <i>Layout</i> da Linha 2 com a Desmontagem de Chassis.....	80
Figura 49 - Nivelção de Piso no Posto 0.....	81
Figura 50 - Melhoria nas chapas de aço com perfis soldados (antes) .....	82
Figura 51 - Melhoria nas chapas de aço com perfis soldados (depois) .....	82
Figura 52 - Estratégias utilizadas para aumento da eficiência.....	83
Figura 53 – Esquema Síntese dos Resultados .....	84
Figura 54 – Eficiência inicial.....	84
Figura 55 – Eficiência Final .....	85

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Planeamento e replaneamentos da Produção A66 Bahrain .....	59
Tabela 2 - Síntese de Resultados .....	85

## Índice de Equações

[Equação 1] .....	30
[Equação 2] .....	30
[Equação 3] .....	31
[Equação 4] .....	42
[Equação 5] .....	42
[Equação 6] .....	42
[Equação 7] .....	43
[Equação 8] .....	43
[Equação 9] .....	57
[Equação 10] .....	57
[Equação 11] .....	57
[Equação 12] .....	57

## 1. Introdução

As alterações sociais, económicas e tecnológicas nas últimas décadas aumentaram significativamente a competitividade nos mercados atuais. As empresas contemporâneas são forçadas a repensar os modelos de negócio tradicionais e encontrar estratégias alternativas, como meio para se adaptarem às exigências competitivas com que são confrontadas – satisfazer clientes com um nível de exigências elevado.

A 1ª Revolução económica ou Revolução Industrial impulsionou a produção em massa e as economias de escala.

A economia digital está a procura de produtos que preencham a totalidade de requisitos em especificidade, qualidade, quantidade e velocidade de entrega. Esta mudança de paradigma tem implícito um aumento da competitividade global.

A empresas vêm-se obrigadas a:

- Readaptarem-se a estratégias e modelos de negócio focados no cliente;
- Desenvolver produtos que satisfaçam e ou superem as necessidades do cliente;
- Envolver o cliente na definição das características do produto que pretende;
- Ter como ordem de fabrico a ordem de compra do cliente (*Built to Order / Assemble to Order/ Engineering to Order*)

O novo paradigma surge como produção personalizada e em massa:

Esta mudança tem alterações a vários níveis:

- Alteração nos procedimentos internos;
- Implicações nos armazéns logísticos
- Alterações no relacionamento exterior – A jusante (fornecedores) e a montante (cliente)
- Alterações dentro da empresa
  - Necessidade do alargamento do mercado;
  - Necessidade de enriquecer o valor final do produto
  - Ser difícil de copiar pelos competidores diretos

As abordagens de gestão tradicionais não estão preparadas para este novo contexto.

Nos últimos anos na CaetanoBus confronta-se com uma mudança estratégica gradual resultante das alterações no contexto social, económico e tecnológico envolvente. Assiste-se a uma transformação progressiva da produção de uma gama de produtos com baixa variedade e com uma procura estável para um cenário atual de alta variabilidade e incerteza na procura, grande variedade e segmentação de produtos, requisitos de qualidade superior e velocidade elevada de entrega.

Eficiência significa produzir com o menor custo possível. O objetivo de um processo eficiente é produzir um produto com a menor entrada de recursos.

Em sistemas produtivos que requerem qualidade, flexibilidade, velocidade de entrega e variedade, conseguir processos eficientes tem implicações muito desafiadoras.

Uma estratégia claramente importante para a aumento da eficiência é o nivelamento da produção, o balanceamento de linha e a melhoria contínua nos processos produtivos. A melhoria contínua assenta no pressuposto de que os processos são sempre alvo de oportunidades de melhoria e os problemas de balanceamento de linhas de montagem são usualmente categorizados em doze tipos tendo em consideração três pressupostos:

- a. O número de modelos do produto (modelo único, modelos mistos e multimodelo);
- b. Natureza das *task times* (determinísticas ou / e probabilísticas);
- c. Tipo de linha de montagem (linha reta ou tipo U).

Na CaetanoBus o sistema produtivo é constituído por três linhas de montagem paralelas. Duas linhas de montagem flexíveis que se adaptam á fabricação de mais de um modelo usualmente consideradas Multiproduto ou Multimodelo e uma linha de montagem exclusiva à produção de um único modelo.

## 1.1. Enquadramento

Em Setembro de 2014 houve uma encomenda de 88 autocarros urbanos com um tempo para entrega que determinou a necessidade de adaptar as três linhas de montagem para a produção do modelo encomendado, o urbano A66 Bahrain.

Neste sentido surgiu a necessidade de melhorar a eficiência das linhas de montagem de para esse modelo.

O projeto focou-se na área de Gestão da Produção nomeadamente no aumento da eficiência pelo do balanceamento de linha de produção, normalização do trabalho e implementação de projetos de melhoria contínua através da resolução estruturada de problemas. As características organizacionais, contextuais e do processo de desenvolvimento do produto originaram a necessidade de revisões constantes ao planeamento da produção que tornaram este projeto ainda mais desafiador.

## 1.2. Estrutura da Dissertação

Para a compreensão do trabalho desenvolvido a dissertação foi dividida em 6 capítulos

Começa-se com a revisão bibliográfica sobre os conceitos importantes e indispensáveis para estudo e desenvolvimento do tema do projeto de dissertação contextualizando-se o seu estado da arte. Segue-se o enquadramento, objetivos do projeto e a metodologia utilizada. Segue-se no capítulo 4 à apresentação da empresa e no capítulo 4 à contextualização do desenvolvimento do projeto de dissertação

No capítulo 5 descreve-se o problema, apresentam-se os resultados e realiza-se uma síntese de too o trabalho desenvolvido. Termina-se a dissertação no sexto capítulo com as conclusões e perspetivas futuras de trabalho.

## 2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são abordados conceitos importantes e indispensáveis para o estudo do tema de investigação. Foi realizada uma revisão exhaustiva da literatura para identificar os principais aspetos que suportam teoricamente a direção tomada para o desenvolvimento do projeto de dissertação de tese.

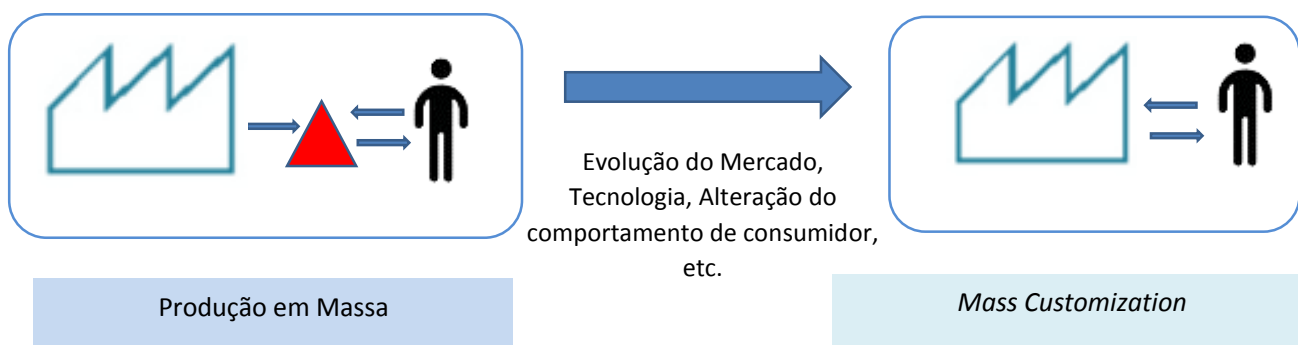
Na primeira parte define-se o conceito de eficiência e as implicações face a diferentes sistemas produtivos, apresentam-se os problemas de balanceamento de linha e os conceitos de *Lean Manufacturing*, Melhoria Contínua, técnicas, ferramentas e métricas.

### 2.1. O conceito de Eficiência e a implicação nos diferentes sistemas de produção

Eficiência é um conceito central na avaliação do desempenho de processos, organizações, sistemas e negócios (Chase, Aquilano & Jacobs, 2001, Slack, Chambers & Johnston, 2010, Silva, 2009).

Para enquadramento do conceito no trabalho desenvolvido apresenta-se uma breve síntese sobre os diferentes sistemas de produção e a sua implicação na eficiência dos seus processos produtivos.

Tradicionalmente os sistemas de produção eram classificados em sistemas de produção em massa e sistemas de produção de lotes. Contudo, face a alterações sociais, económicas e tecnológicas as empresas contemporâneas desenvolveram meios para se adaptarem às exigências atuais - a necessidade de alinhamento e desenvolvimento de flexibilidade em toda a cadeia de valor como fator fundamental na diminuição do tempo de resposta com qualidade face às solicitações e exigências do cliente de forma a garantir resultados e a competitividade ambicionada. Atualmente assiste-se em muitas indústrias à transição da Produção em Massa para Produção em Massa Customizada (Chase, Aquilano & Jacobs, 2001, Slack, Chambers & Johnston, 2010)



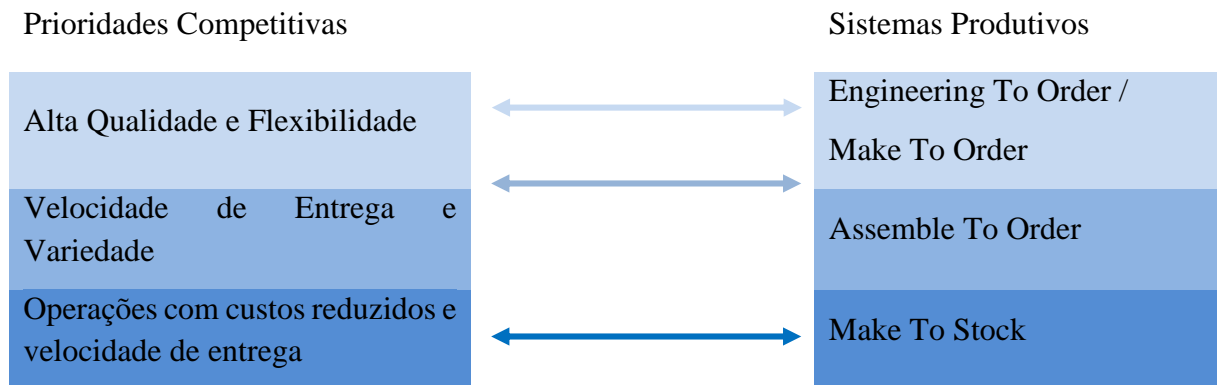
(fonte: adaptado de Gestão de Operações – PGGO, PBS, 2014)

**Figura 1** - Evolução dos Sistemas de Produção

Esta alteração de paradigma implica:

- Estratégias focadas no cliente;
- Produtos que satisfaçam e/ ou excedam as necessidades do cliente
- A participação do cliente na definição das características do produto que pretende
- A ordem de compra do cliente é que inicia a atividade de fabrico do produto

Nesta perspetiva, as prioridades competitivas refletem-se em diferentes sistemas produtivos.



(fonte: adaptado de Gestão de Operações – PGGO, PBS, 2014)

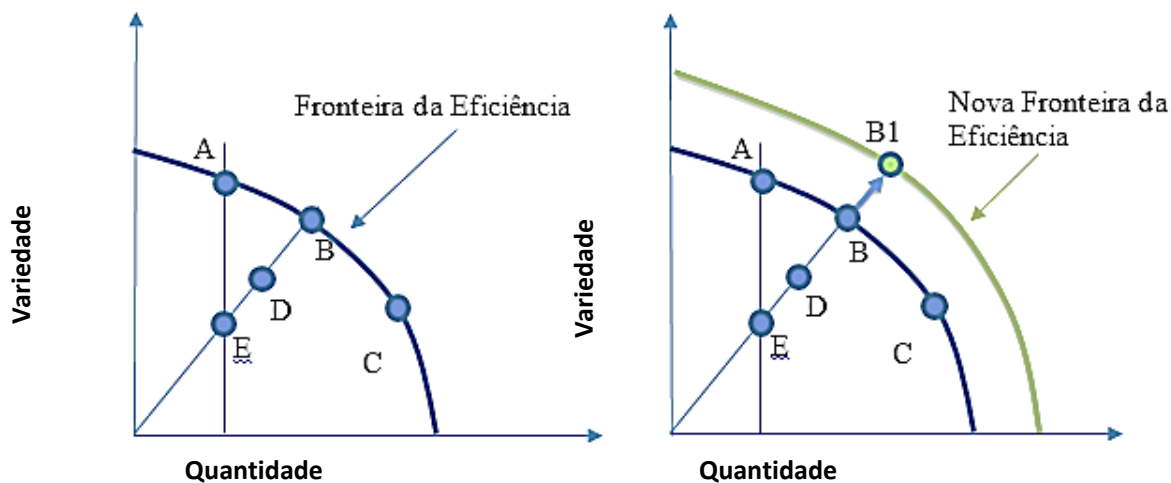
**Figura 2** – As prioridades competitivas e os diferentes sistemas produtivos

Em sistemas produtivos que requerem alta qualidade e flexibilidade e/ ou velocidade de entrega e variedade, ter processos eficientes é um desafio (Chase, Aquilano & Jacobs, 2001, Slack, Chambers & Johnston, 2010). Genericamente eficiência indica a particularidade de se obter o melhor resultado em quantidade/qualidade com o menor gasto de recursos como tempo, trabalho, energia e matérias-primas (Silva, 2009).

Melhorar a eficiência é, portanto, minimizar os custos e melhorar as margens operacionais (Chase, Aquilano & Jacobs, 2001, Slack, Chambers & Johnston, 2010). Contudo em muitos casos pode haver um "trade-off" entre os objetivos de desempenho. A melhoria da eficiência muitas vezes só pode ser alcançada pelo sacrifício do desempenho de outros objetivos. Por exemplo, o aumento da complexidade da variedade de uma oferta de produtos ou serviços geralmente reduz a capacidade das operações serem executadas de forma eficiente (Slack, Chambers & Johnston, 2010).

Este trade-off define a fronteira da eficiência. Esta identifica as operações com desempenho que dominam o desempenho de outras operações (Slack, Chambers & Johnston, 2010).





(fonte: adaptado de Slack, Chambers & Johnston, 2010)

**Figura 3** - Fronteiras da Eficiência

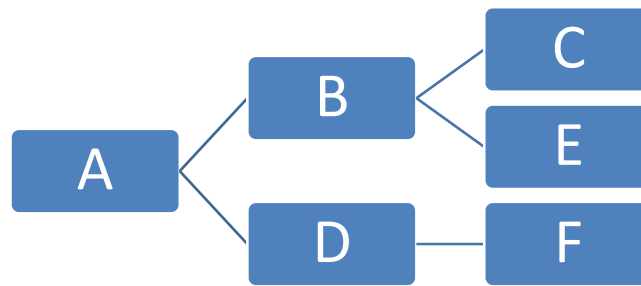
A melhoria em dois objetivos em conflito ao mesmo tempo (por exemplo o trade-off entre variedade e quantidade) poderá ser conseguida pela implementação de melhorias operacionais (Slack, Chambers & Johnston, 2010). Estratégias extremamente importantes para a melhoria da eficiência são o nivelamento da produção, o balanceamento de linha e a melhoria contínua dos processos (Chase, Aquilano & Jacobs, 2001, Slack, Chambers & Johnston, 2010)

A melhoria na fronteira da eficiência pode então ser conseguida pelo desenvolvimento e implementação de diferentes estratégias com vista à melhoria do desempenho dos processos. A melhoria na qualidade nas operações permite reduzir custos e aumentar a confiabilidade. A diminuição do tempo das operações influencia a velocidade com que bens e serviços são entregues e a produção da quantidade certa na altura certa procurar influenciar a confiabilidade da entrega de produtos e serviços economizando-se tempo e dinheiro (Chase, Aquilano & Jacobs, 2001, Slack, Chambers & Johnston, 2010)

## 2.2. A Linha de montagem e os problemas de balanceamento

### 2.2.1. Linha de Montagem

Uma linha de produção ou montagem consiste num conjunto de operações de acordo com um volume de produção num determinado período de tempo. A linha de montagem de um produto é constituída por um determinado número de postos de trabalho constituídos por um conjunto de tarefas processadas de acordo com uma rede de precedências de operações. De acordo com rede precedências, algumas das tarefas são realizadas numa ordem sequencial enquanto outras poderão ser processadas em paralelo (Sivasankaran e Shahabudeen, 2014; Gurevsky e Dolgui, 2012)



**Figura 4** - Exemplo de Precedência de Tarefas numa Linha de Produção

As operações devem ser agrupadas em diferentes postos de trabalho sem violar as relações de precedência de tal forma que a medida assumida de desempenho é otimizada – projeto de balanceamento da linha de montagem (Sivasankaran e Shahabudeen, 2014; Gurevsky e Dolgui, 2012).

### 2.2.2. Balanceamento de Linha

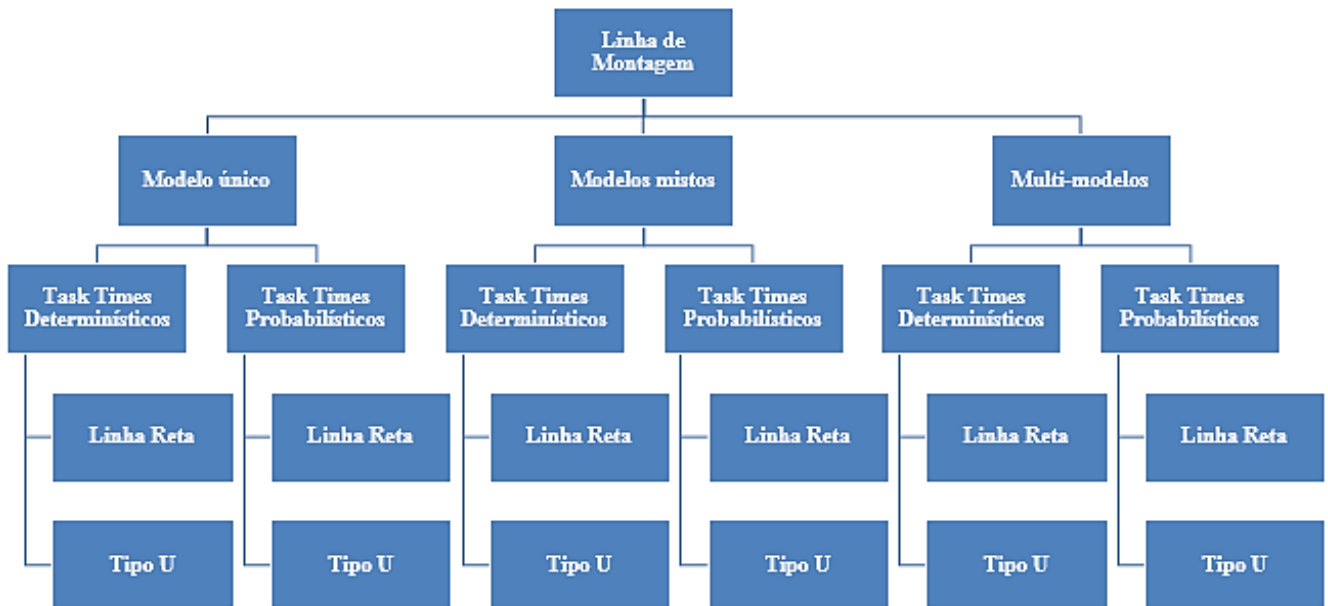
Existem inúmeras ferramentas para se realizar o nivelamento e balanceamento de linha assim como inúmeras estratégias para implementar a melhoria continua nos processos produtivos

Na literatura são referidos vários problemas tipo de balanceamento de linhas de montagem assim como diferentes soluções para aplicação nos referidos problemas.

O balanceamento de linha de montagem envolve, sobretudo a minimização do número de postos de trabalho, o equilíbrio da carga de trabalho entre os postos, a eliminação de desperdícios, entre outros. Assim, os principais objetivos de um de balanceamento de linha de montagem podem ser distribuídos por duas categorias principais: tipo 1) minimizar o número de postos de trabalho para um determinado tempo de ciclo; tipo 2) minimizar os tempos máximos das operações nos postos de trabalho para um determinado número de postos numa linha de montagem. Por se tratar de um problema de otimização combinatória o uso de heurísticas é comumente utilizado (Sivasankaran e Shahabudeen, 2014; Gurevsky e Dolgui, 2012).

Os problemas de balanceamento de linhas de montagem podem ser categorizados em doze tipos tendo em consideração três pressupostos (Sivasankaran e Shahabudeen, 2014).

- d. O número de modelos do produto (modelo único, modelos mistos e multimodelo);
- e. Natureza das task times (determinísticas ou / e probabilísticas);
- f. Tipo de linha de montagem (linha reta ou tipo U).



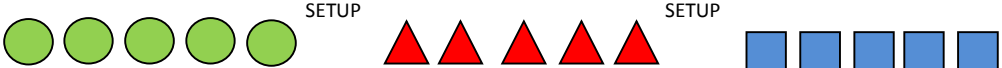


(fonte: adaptado de Sivasankaran & Shahabudeen, 2014)

**Figura 5** - Categorização dos problemas de balanceamento de linha

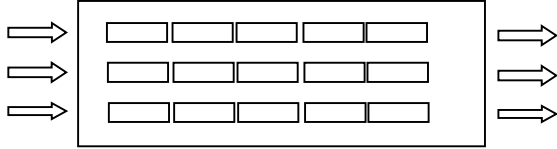
**a) O número e tipo de organização de modelos do produto**

Quanto ao número e tipo de organização de modelos do produto podem existir linhas de montagem de:

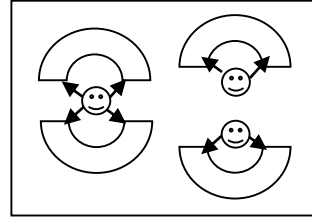
- Modelo único 
- Modelos mistos 
- Multimodelo 

**b) Tipo de linha de montagem (linha reta ou tipo U)**

No que diz respeito à configuração ou layout podem definir-se dois grandes tipos de linhas de montagem. As linhas de montagem retas com operações paralelas ou sequenciais e as linhas de montagem tipo U



**Figura 6** - Linha de montagem Reta



**Figura 7** - Linha de montagem tipo U

**c) Natureza dos *task times***

Quanto à natureza dos *task times* consideram-se tradicionalmente os seguintes fatores para análise:

- N - Número de postos de trabalho na linha de produção ou montagem;
- T<sub>c</sub> - Tempo de ciclo;
- t<sub>i</sub> - Tempo médio correspondente à operação i;
- $\sum t_i$  - Tempo total necessário para produzir uma unidade que corresponde à soma total das operações.

O número mínimo de postos (N<sub>min</sub>) é calculado pela equação:

$$N_{min} = \frac{1}{T_c} \cdot \sum_1^n t_i \quad \text{[EQUAÇÃO 1]}$$

A eficiência do balanceamento pode ser calculada através da equação:

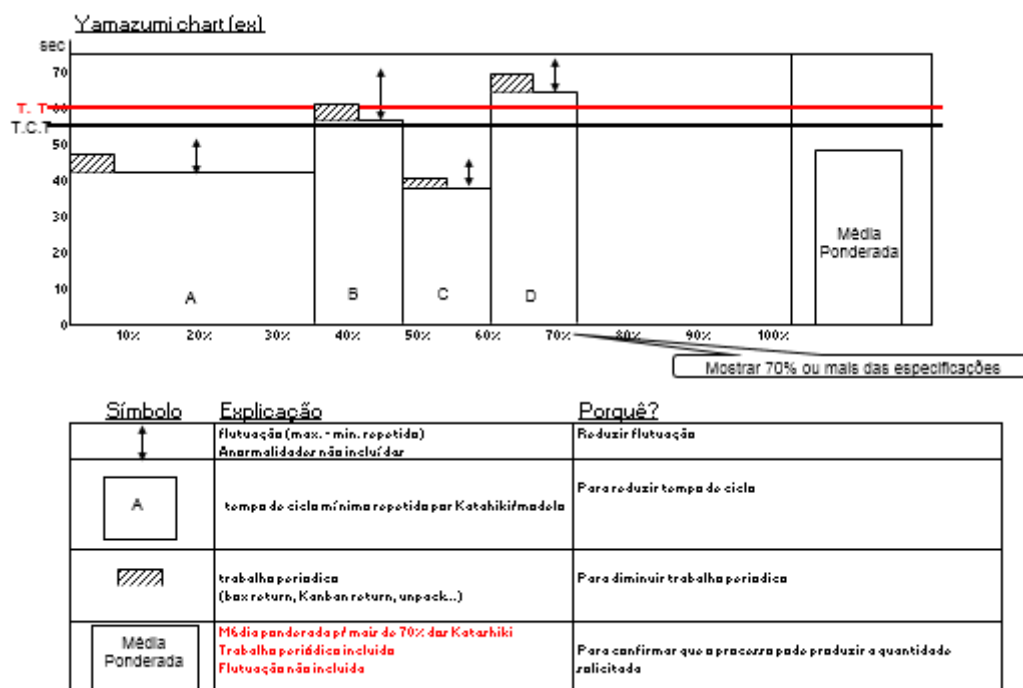
$$\varepsilon = \frac{1}{N \cdot T_c} \cdot \sum_1^n t_i \quad \text{[EQUAÇÃO 2]}$$

A folga<sup>1</sup> do conjunto das operações é calculada por a seguinte equação:

$$f = N \cdot T_c - \sum_{i=1}^n t_i \quad [\text{EQUAÇÃO 3}]$$

### 2.2.3. Balanceamento Lean

O balanceamento Lean é implementado através do Yamazumi ou Yamazumi Chart. Esta ferramenta auxilia o balanceamento das operações e permite a visualização da situação atual, do desenvolvimento do processo e do resultado final. O Yamazumi mostra objetivamente o tempo gasto nas operações de valor acrescentado para o processo e as operações de desperdício (puro ou necessário) como por exemplo as esperas e as movimentações dos operadores (Pinto, 2009).



(fonte: adaptado TPS - Formação *Standard Work*, TCAP, 2013)

**Figura 8** - Exemplo de um Yamazumi Chart

<sup>1</sup> Folga do total das operações: A folga corresponde ao tempo não operacional em função do tempo total necessário para a produção do produto e o tempo real de ciclo.

### 2.3. O Conceito Lean

A filosofia Lean é um dos mais bem-sucedidos arquétipos de gestão da atualidade empresarial. (Womack & Jones, 2006; Imai, 2007; Liker & Meier, 2004)

Womack e Jones (1996) consideram a abordagem Lean ou “Lean Thinking” como o “antídoto para o desperdício”

Estes autores consideram o desperdício como qualquer atividade de carácter humano que não acrescente valor ao processo produtivo. Contudo, atualmente este conceito é aplicado a qualquer tipo de atividade, operações ou recursos que não acrescentem valor ao processo.

Valor é um conceito com várias interpretações diferentes (Kaplan & Norton, 2001; Johnson, Scholes, & Whittington, 2008; Chase, Aquilano & Jacobs, 2001).

Pode ser considerado como o conjunto de atividades associadas ao planeamento, execução, controlo e melhoria dos processos que geram os produtos e serviços pelo menor custo possível satisfazendo os requisitos do cliente em qualidade e quantidade de forma a satisfazer todas as partes interessadas (Kaplan & Norton, 2001).

As diferentes partes interessadas são a sociedade, os clientes, os acionistas e os colaboradores. 914605626 5945562

A criação de valor é um aspeto amplamente discutido e questionado (Tsai & Ghoshal, 1998; Olivier, 2011; Kaplan & Norton, 2001; Johnson, Scholes, & Whittington, 2008; Chase, Aquilano & Jacobs, 2001). A resposta para o que cria de facto valor passa sobretudo pela identificação das partes interessadas, das suas necessidades e expectativas, a identificação de todas as atividades que concretizam as necessidades e vão de encontro (ou ultrapassam) as expectativas das partes interessadas, eliminando ao logo desse “processo” todo o tipo de desperdício (Rania, 2013; Hines, Holweg, & Rich, 2004; Amaro e Pinto, 2007; Womack & Jones, 2010).

No que diz respeito á utilidade versus desperdício é importante ter em consideração as necessidades e expectativas. Pinto (2009) refere como exemplo a perfeição vs a “necessidade dessa perfeição” em função por exemplo do tempo ou do consumo de recursos para atingir a “perfeição”. A compreensão do Trade-off é fundamental para a estratégia a definir na criação de valor (Pinto, 2009; Ulrich, 2003; Porter, 1996) Os desperdícios são todas as atividades que não acrescentam valor ao produto (ou serviço), isto é, atividades que consomem recursos e tempo, tornando-os mais dispendiosos do que deveriam ser.

O conceito de desperdício foi introduzido pela primeira vez pelos japonese – MUDA. Taiichi Ohno (1912-1990) e Shigeo Shino (1909-1990) identificaram sete categorias de desperdício no decorrer do desenvolvimento do TPS – Toyota Production System.

Estas sete categorias são ainda hoje as categorias mais amplamente utilizadas no universo empresarial (Slack, Chambers & Johnston, 2010; Pinto 2009):

- Excesso de Produção;
- Esperas;
- Transporte e movimentações;

- Desperdícios do próprio processo;
- Stocks;
- Defeitos;
- Re-trabalhos ou trabalho desnecessário.

Mais tarde, Brunt et al sugere novas categorias de desperdícios, complementares das categorias tradicionais e que podem ser também aplicáveis aos serviços:

- Subutilização das capacidades ou potencial humano;
- A utilização de sistemas inapropriados
- Consumo energético desnecessário
- Consumo desnecessário de materiais
- Escritórios ou áreas administrativas;
- Tempo do cliente

No entanto estas categorias do desperdício podem ser incluídas em duas categorias macros:

- O puro desperdício;
- O desperdício necessário.

O puro desperdício representa as atividades totalmente dispensáveis (por exemplo, não fazer bem à primeira, deslocações desnecessárias, etc.) e o desperdício necessário representa atividades, que mesmo sem acrescentarem qualquer tipo de valor são indispensáveis

(processos reais versus processos ideais). São exemplos a inspeção da qualidade, a realização de setups, entre outras.

A criação de valor e eliminação de desperdícios está então vincadamente associada à eficiência, produtividade, eficácia e numa perspetiva sistémica, à vantagem competitiva.

A validade dos princípios em que se fundamenta esta filosofia é confirmada pelo sucesso da Toyota Motors Corporation (TMC) que em 2007 superou a General Motors (GM) considerada desde 1930 a maior empresa do sector automóvel. (Shingo,1996; Imai, 2007; Amaro e Pinto, 2007; Pinto, 2009)

## 2.4. Melhoria Contínua

A Melhoria Contínua ou *Kaisen* é um conceito altamente empregue pelas empresas como um método para a melhoria do desempenho e qualidade nas organizações (Imai, 2007; Pinto, 2009; Coimbra, 2009; Suzaki, 2010). Como noutras estratégias de gestão, esta metodologia não é uma solução do tipo *quick fix*<sup>2</sup>. Esta abordagem baseia-se numa evolução gradual.

---

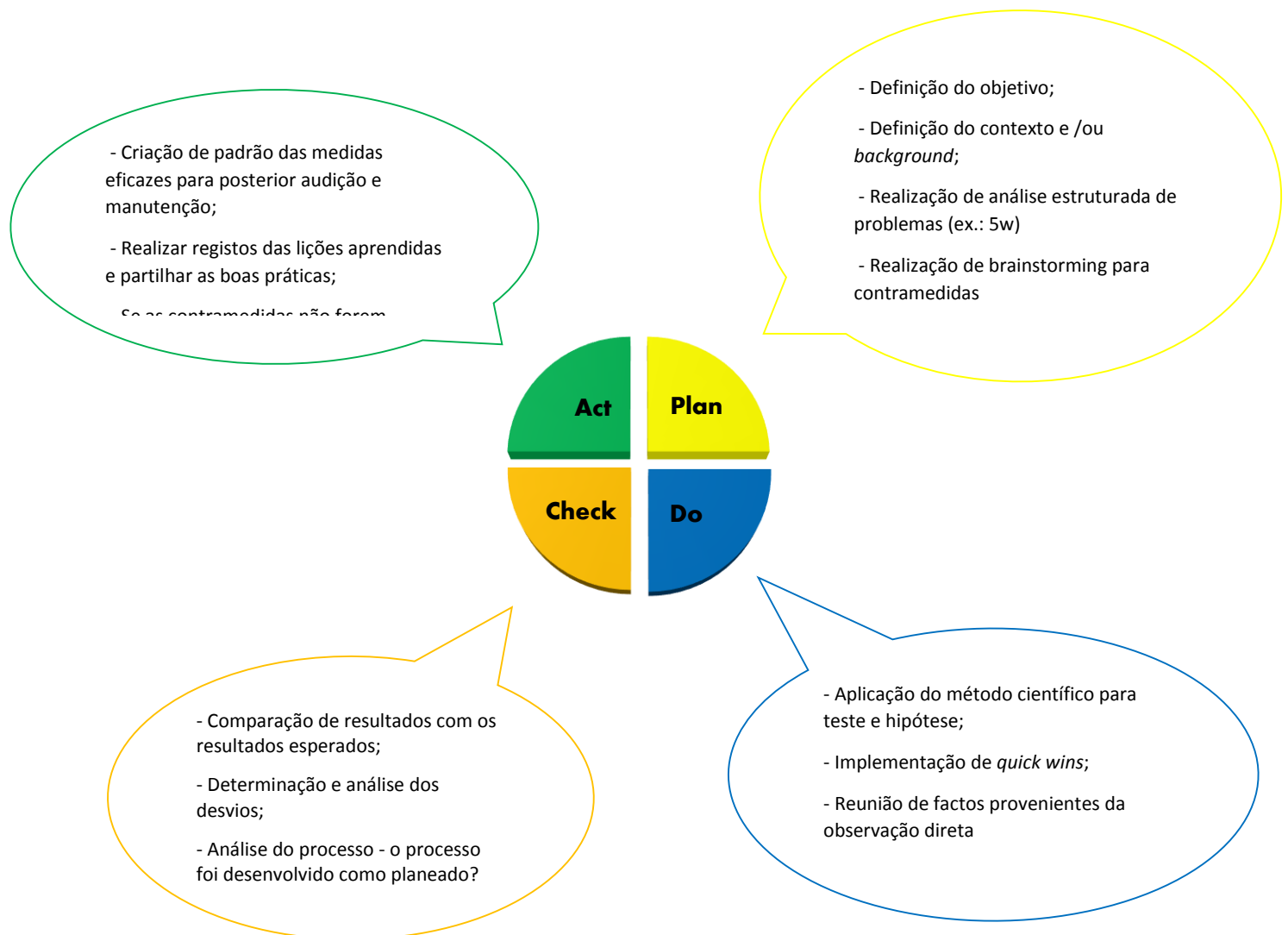
<sup>2</sup> Quick fix: Solução para resolver imediatamente os sintomas do problema.

A sua efetiva implementação é um processo crítico dada a característica de mudança implícita e a ambiguidade entre o equilíbrio da mudança e do hábito. A efetiva implementação deverá ser suportada por estratégias objetivas:

- Comunicação orientada como o Método de Comunicação Hourensou;
- Análise estruturada de problemas como os 5W ou 8D;
- Gestão Visual
- Ciclo PDCA ou ciclo de Melhoria Contínua

Cada passo dado no sentido da otimização (ou ideal) é sustentado no ciclo PDCA sendo que este ciclo é continuamente repetido até que se atinja o estado perfeito. É uma metodologia de auxílio à implementação da melhoria contínua, à gestão da mudança como também de apoio a situações de análise (Imai, 2007; Pinto, 2009).

Este método divide-se em quatro fases macro que englobam ações específicas (consultar figura. 1) (Imai, 2007; Pinto, 2009)



**Figura 9** - Fases e Subfases do Ciclo PDCA

(fonte: adaptado de Imai, 2007)



Contudo, recentemente Pinto (2009) propõem uma revisão ao ciclo atribuindo 50% do tempo para o planeamento (Plan) e os restantes 50% distribuídos pelas fases seguintes - Do, Check e Act (consultar figura 2).



(fonte: adaptado de Pinto, 2009)

**Figura 10** – Revisão das Fases do Ciclo PDCA

Apesar da adoção de uma cultura de qualidade e excelência não ser possível de implementar num curto espaço de tempo, a implementação de soluções tipo quick fix são indispensáveis nas organizações. Exemplos são a alteração de Layout ou a alteração da prática de uma determinada montagem que cuja não implementação põe em causa ou prejudica o desempenho da organização (ou de um processo).

## 2.5. Métodos, Técnicas e Ferramentas e Métricas Lean

Neste ponto apresenta-se uma descrição detalhada sobre as principais soluções Lean.

Começa-se por apresentar as principais metodologias, seguindo-se uma revisão sobre as técnicas e ferramentas e termina-se com apresentação das métricas comumente utilizadas para medição dos resultados.

### 2.5.1. Metodologias

Tendo em consideração que os métodos têm como finalidade a orientação para a implementação e manutenção dos objetivos a que se propõem. Pinto (2009) identifica as seguintes metodologias orientadoras no contexto da implementação da abordagem Lean:

- 2.5.1.1. O planeamento Hoshin Karin;
- 2.5.1.2. Análise da Cadeia de Valor;
- 2.5.1.3. O sistema Pull;
- 2.5.1.4. Os métodos Error Proofing;
- 2.5.1.5. A metodologia TOPS/8D
- 2.5.1.6. A metodologia SMED;
- 2.5.1.7. Gestão Visual
- 2.5.1.8. A metodologia dos Six Sigma;
- 2.5.1.9. Envolvimento das Pessoas.

### 2.5.1.1. Planeamento Hoshin Karin

É uma metodologia que tem como objetivo desenvolver e desdobrar a política e estratégia de negócio a todos os níveis organizacionais pelo alinhamento da totalidade dos recursos (Barry & Butterworth,1999; Pinto,2009; Akao, 1991). Estes planeamento é desenvolvido em cinco fases sendo elas o planeamento estratégico e o estabelecimento do hoshin<sup>3</sup> e desenvolvimento da política onde os gestores intermédios tem como função avaliar a exequibilidade da estratégia definida pela gestão de topo, a monitorização do hoshin que consiste no controlo das métricas definidas, a verificação e atuação pela monitorização de processos procedimentos e políticas definidas, propondo melhorias com base em desvios ou recente acompanhamento da implementação e monitorização e por último a avaliação de resultados (Barry & Butterworth,1999; Pinto,2009; Akao, 1991).

### 2.5.1.2. Análise da Cadeia de Valor ou VSM

A análise da Cadeia de Valor ou VSM é uma metodologia que permite analisar a sequência de todos os processos de desenvolvimento dos produtos ou serviços de uma organização ou rede de organizações (Chase, Aquilano & Jacobs, 2001; Imai, 2007; Pinto 2009; Slack, Chambers & Johnston,2010;). Permite identificar as atividades que criam valor, as atividade caracterizadas por desperdício necessário ou inevitável, e o puro desperdício, totalmente dispensável. Para eliminar com eficácia o MUDA presente na cadeia de valor deverá conhecer-se efetivamente as necessidades e expectativas do cliente, conhecer detalhadamente os processos da cadeia em análise, estabilizar e nivelar os processos de produtivos e implementar o Pull System (Hines & Rich, 1997; Amaro e Pinto, 2007; Chase, Aquilano & Jacobs, 2001; Pinto 2009; Slack, Chambers & Johnston, 2010)

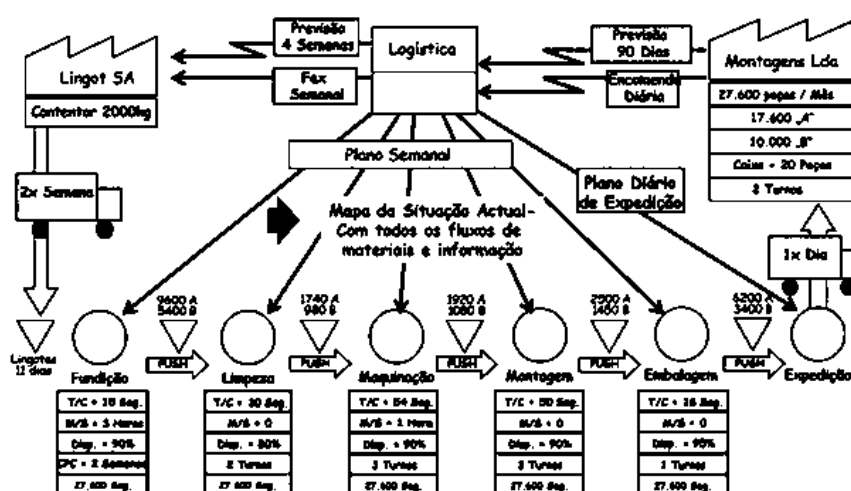


Figura 11 – Exemplo VSM

(Fonte: Instituto Kaizen)

<sup>3</sup> Hoshin Kanri: Ferramenta de decisão estratégica. Foca-se no empenho e iniciativas críticas para alcançar os objetivos estratégicos da empresa.

### 2.5.1.3. O Sistema Pull

Num sistema Pull, cada sequência de operações só se desencadeia na presença de um pedido (Chase, Aquilano & Jacobs, 2001; Imai, 2007; Amaro e Pinto, 2007; Pinto 2009; Slack, Chambers & Johnston, 2010). Neste sistema, contrariamente aos sistemas tradicionais caracterizados por sistemas push, as operações ocorrem apenas quando são necessárias, isto é, just in time (JIT) – a produção na quantidade certa e no momento certo. Nesta abordagem, o ritmo de produção é estabelecido pelo cliente e repercutido em toda a cadeia de fornecimento. Esse tipo de estratégia operacional permite reduzir o risco do *bullwip effect*<sup>4</sup> que advém da variação da procura (Chen et al., 2000, p. 436). Existem ainda outras restrições a considerar, nomeadamente restrições de capacidade interna e restrições capacidade de fornecimento, que podem dificultar a implementação eficaz de estratégias de gestão operacional JIT (Amaro e Pinto, 2007; Hirano, 2012; Chase, Aquilano & Jacobs, 2001; Liker, 2008; Pinto 2009; Slack, Chambers & Johnston, 2010). O sucesso da implementação de estratégias operacionais JIT depende sobretudo da existência de um sistema de operações estável e normalizado, de processos flexíveis (em volume, mix de produtos e prazos de entregas) e de pessoas motivadas.

De acordo com Pinto, (2009), o impulsor da implementação do JIT são um conjunto de técnicas e ferramentas para criar e gerir valor eliminando o desperdício:

- a) Operações simples e uniformizadas
- b) Design de produtos, processos e serviços otimizados para a sua execução (Design to Assemble<sup>5</sup>; Design Modular<sup>6</sup>)
- c) Desenvolvimento de processos simples, uniformizados e à prova de erro;
- d) Uso de equipamentos simples e flexíveis
- e) Layout adaptado ao produto;
- f) Total Productive Maintenance<sup>7</sup>;
- g) Redução dos tempos de setup - SMED<sup>8</sup>;
- h) Implementação de gestão visual;
- i) Envolvimento das pessoas;
- j) Envolvimento dos fornecedores

---

<sup>4</sup> *Bullwip Effect* - Distorção da percepção da procura ao longo da cadeia de abastecimento na qual os pedidos para o fornecedor têm uma variância diferente da variância das vendas para o cliente.

<sup>5</sup> *Design for Assemble* - (DFA) é um processo pelo qual os produtos são projetados de forma a facilitarem a sua montagem

<sup>6</sup> *Design Modular* - É um tipo de *design* que subdivide um sistema em duas partes menores chamados módulos, que podem ser criados de forma independente e, em seguida, utilizados em sistemas diferentes.

<sup>7</sup> *TPM – Total Productive Maintenance*: Sistema de Gestão que tem como objetivo maximizar o desempenho global dos equipamentos através da gestão do seu funcionamento, reparações e intervenções (Pinto, 2009)..

<sup>8</sup> *SMED – Single Minute Exchange of Die*: método para melhorar a eficiência e eficácia dos *setups*, i.e., melhorar a eficiência e eficácia da mudança de ferramentas Pinto, 2009).

k) O nivelamento da produção ou programação Heijunka<sup>9</sup>

2.5.1.4. Os Métodos Error Proofing

Os métodos Error Proofing ou Poka Yoke representam atividades, operações ou ferramentas para identificação e prevenção da ocorrência de erros. A aplicação desta metodologia pode ser implementada em diferentes fases da cadeia de valor nomeadamente na fase de desenvolvimento de produto, desenvolvimento dos processos ou execução (Shingo,1986; Hirano, 2012; Chase, Aquilano & Jacobs, 2001; Pinto 2009; Slack, Chambers & Johnston, 2010).

2.5.1.5. Metodologia TOPS/8D

A metodologia TOPS/8D, Team Oriented Problem Solution/8Disciplines, é uma metodologia de resolução de problemas estruturada que consiste no seguimento de uma sequência de fases que permite analisar e eliminar a causa raiz dos problemas identificados (Behrens, Wilde, & Hoffmann, 2007; Teixeira,2008; Pinto, 2009; Bastos,2012);

As fases a seguir são as seguintes:

1. Formação da equipa;
2. Descrição do Problema;
3. Implementação de Ações de Contenção;
4. Colocação de Hipóteses e Análise da Causa Raíz;
5. Validação das ações corretivas permanentes;
6. Implementação das ações corretivas permanentes;
7. Definição de ações preventivas (prevenção da re-ocorrência);
8. Felicitação da Equipa e reflexão sobre as lições aprendidas.

2.5.1.6. A Metodologia SMED

O método SMED diz respeito a metodologias para redução dos tempos de setup com o objetivo de maximizar a utilização dos recursos e aumentar a flexibilidade dos processos (Shingo,1985; Hirano, 2012; Chase, Aquilano & Jacobs, 2001; Liker, 2008; Pinto 2009; Slack, Chambers & Johnston, 2010; Henry,2012).

2.5.1.7. A Gestão Visual

A gestão visual refere-se a técnicas de controlo visual intuitivas com o objetivo de melhorar a eficiência e a eficácia operacional ao tornar a informação visível e clara

A metodologia dos 5'S associa-se à Gestão Visual e à produção Lean (Pinto, 2009). Tem como objetivo melhorar a organização da área de trabalho, quer seja a área produtiva (como uma workstation) ou uma área de trabalho administrativa (Shingo,1986; Hirano, 2012; Chase, Aquilano & Jacobs, 2001; Pinto 2009; Slack, Chambers & Johnston, 2010).

---

<sup>9</sup> *Heijunka* – Programação e sequência de operações de pedidos, num padrão repetitivo de curta duração relacionado com a procura a médio/longo prazo (Pinto, 2009).

Os 5'S correspondem a 5 palavras japonesas com os seguintes significados (Imai, 2007; Liker, 2008; Pinto, 2009)

- Seiri - Seleção entre o que é necessário e eliminação do desnecessário;
- Seiton - Um local para tudo e tudo no seu local;
- Seiso – Limpeza e manutenção da área de trabalho;
- Seiketsu – Normalização;
- Shitsuke – Disciplina para manutenção das normas e a melhoria contínua.

#### 2.5.1.8. A Metodologia dos Six Sigma;

Tem como objetivo reduzir de uma forma sistemática a variabilidade no processo – MURA - pelo uso de um conjunto de métodos e ferramentas estatísticas de análise dos dados provenientes dos processos. – Mede o quanto um processo se desvia da perfeição. Esta metodologia permite medir a capacidade do processo, isto é, a sua competência Khalil et al, 2006; De Mast, Lokkerbol, 2012; George et al, 2005).

#### 2.5.1.9. O Envolvimento das Pessoas

As Pessoas são o elemento mais importante para a implementação de cultura Lean. Autores consideram o fator Pessoas mais decisivo que os fatores técnicos ou o conhecimento sobre os conceitos Lean. (Cane, 1996; Imai, 2007; Pinto, 2009)

Hayes et al., (1988), e Gino & Pisano, 2008 consideram pertinente a compreensão de como a eficácia da operacionalização dos processos e eficiência da gestão podem ser maximizadas ao se integrar e compreender a influência e as limitações do comportamento humano nos processos internos numa empresa. Vários autores consideram que quer na indústria quer nos serviços, Supply chain e R&D que as pessoas são um componente crítico do sistema (Hayes et al., 1988, Gino & Pisano, 2008). Constatou-se ainda através da leitura de vários estudos que as pessoas podem influenciar significativamente o funcionamento e a execução dos sistemas operacionais e respostas às intervenções de gestão (Bachrach, Bendoly, & Podsakoff, 2001, Bendoly and Hur, 2006, Kamal et al 2006, Boudreau et al.2003).

Na filosofia Lean, esta perspetiva é também evidenciada. Desprezar o potencial humano numa organização é considerado por vários autores uma das mais graves e impercetíveis manifestações de desperdício (Pinto, 2009). As pessoas não devem ser consideradas recursos equivalentes a determinado tempo de turno (por exemplo 8 horas). Pinto (2009) refere que num turno de 8 horas pode fazer-se mais ou menos que 8 horas dependendo da motivação das pessoas. Contrariamente aos recursos tradicionais, as pessoas têm vontade própria, pensam e são capazes de decidir. Devem portanto ser lideradas e não geridas (Imai, 2007). Numa cultura Lean não deverá apenas ter-se em consideração conduzir as pessoas no sentido de criar valor, mas deve sobretudo ser-se capaz de desenvolver a criatividade e o talento de cada um. Um líder deverá ser um mestre e um aprendiz - *Sensei*<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> *Sensei*: Professor ou mestre (nas artes marciais). E um conceito utilizado para referir um especialista em *Toyota Production System (TPS)*

O desenvolvimento de pessoas Lean é um dos maiores desafios de uma organização e um dos maiores recursos para criar vantagens competitivas (Pinto, 2009).

## 2.6. Ferramentas

As ferramentas são os meios para implementação eficaz das metodologias descritas acima.

Existem uma variedade de ferramentas Lean, que podem ser aplicadas a diferentes metodologias (Imai, 2007; Pinto, 2009;):

2.6.1.1. FMEA;

2.6.1.2. *Heijunka*;

2.6.1.3. Normalização de trabalho ou *standard work*;

2.6.1.4. *Kanban*;

2.6.1.5. Diagramas de Causa-Efeito;

2.6.1.6. A fórmula 5W2H;

### 2.6.1.7. FMEA ou Análise Modal de Falhas

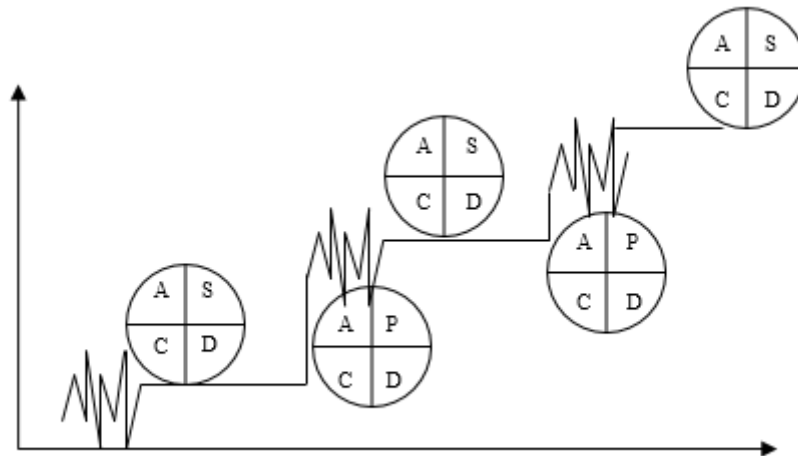
É uma técnica que tem como finalidade a identificação de eventuais modos de falha de produtos, processos ou serviços e as orientações para a eliminação do risco de ocorrência das falhas identificadas (Imai, 2007; Pinto, 2009;):).

### 2.6.1.8. *Heijunka*

É uma técnica que tem como objetivo auxiliar o nivelamento da produção em volume e mix de produtos respondendo de forma mais eficaz às flutuações da procura. O resultado da sua implementação é a estabilização do fluxo produtivo. Para a implementação eficaz e capacidade de produção num tempo padrão é necessário normalizar as operações Imai, 2007; Pinto, 2009;):.

### 2.6.1.9. A Normalização do Trabalho

A normalização do trabalho ou *standard work* é um dos pontos chave da implementação da abordagem LEAN (Imai, 2007; Pinto, 2009). O *standard work* é a uniformização das ferramentas, operações e sequências de trabalho e implica a documentação dos procedimentos operatórios. O ciclo PDCA pode ser adaptado e utilizado como uma ferramenta de apoio à implementação efetiva da standardização das operações. – SDCA (*Standardize, Do, Check, Act*). Pode ser considerado o “calço” no ciclo de melhoria contínua conduzido pelo PDCA (Imai, 2007; Pinto, 2009).



(fonte: adaptado de Pinto, 2009)

**Figura 12** - Implementação agregada do ciclo PDCA e SDCA

#### 2.6.1.10. O Kanban<sup>11</sup>

É uma ferramenta de controlo de fluxos – materiais, pessoas e informação no Gemba<sup>12</sup> (Kumar& Panneerselvam, 2007) O fluxo Pull ou JIT é garantido pela implementação desta ferramenta Neste sistema o relevo é colocado no output e o fluxo é controlado pelo cliente final (Imai, 2007; Pinto, 2009)

#### 2.6.1.11. O Diagrama Causa-Efeito

O Diagrama de Causa Efeito ou *Ishikawa* é uma ferramenta de análise aplicada usualmente em processos de brainstorming com o objetivo de resolução de problemas (Imai, 2007; Pinto, 2009). Esta ferramenta auxilia a identificação das causas raiz dos problemas a partir da sua sintomatologia e as causas são agrupadas em categorias. As categorias mais utilizadas no contexto industrial são:

- Medição;
- Pessoas;
- Máquinas;
- Ambiente;
- Materiais;
- Processo

<sup>11</sup> *Kanban* – Palavra japonesa que significa “cartão”. É um sistema de controlo de operações que permite coordenar o fluxo de materiais e de informação ao longo do processo produtivo. É uma ferramenta essencial nos sistemas produtivos com características *Pull*.

<sup>12</sup> *Gemba* – Palavra japonesa que significa local de trabalho, planta fabril ou *shop floor*.

#### 2.6.1.12. Fórmula 5W2H<sup>13</sup>

É uma técnica auxiliar de análise de problemas que poderá ser utilizada isoladamente ou integrar-se noutras metodologias de análise de problemas como no Diagrama de Causa Efeito ou 8D.

### 2.7. Métricas Lean

As métricas ou *key performance indicators (KPIs)* são indicadores que permitem avaliar os resultados das ações implementadas. São considerados indicadores de desempenho (Imai, 2007; Pinto, 2009).

Existem *KPIs* operacionais, financeiros ou de outra tipologia tendo em consideração o contexto e a perspetiva da avaliação (Imai, 2007; Pinto, 2009).

Os *KPIs* operacionais mais relevantes são:

- 2.7.1.1. Eficácia (E) avalia a capacidade de um determinado sistema atingir objetivos. É calculada através de:

$$E = \frac{\text{resultados alcançados}}{\text{resultados esperados}} \times 100 \% \quad [\text{EQUAÇÃO 4}]$$

- 2.7.1.2. Disponibilidade (D) é uma métrica para avaliar a relação entre tempo útil e o tempo disponível:

$$D = \frac{\text{tempo\_útil}}{\text{tempo\_disponível}} \times 100\% \quad [\text{EQUAÇÃO 5}]$$

- 2.7.1.3. Ocupação (O) é calculada pela relação entre a carga e a capacidade:

[EQUAÇÃO 6]

---

<sup>13</sup> Fórmula 5W2H: Fórmula para análise de problemas e processos e decisão que coloca as seguintes questões: quem (*who*), o quê (*what*), onde (*where*), quando (*when*), porquê (*why*), como (*how*), quanto (*how much*).



$$O = \frac{\text{carga}}{\text{capacidade}} \times 100\%$$

- 2.7.1.4. Conformidade (Q) é calculada pela relação entre o total sem defeito e o total de unidades produzidas

$$Q = \frac{\text{Total de Unidades} - \text{Unidades com defeito}}{\text{Total de Unidades}} \times 100\% \quad [\text{EQUAÇÃO 7}]$$

- 2.7.1.5. Tempo de Ciclo (Tc) corresponde ao tempo entre produtos sucessivos. É definido pela operação ou pela estação (*workstation*) mais lenta – gargalo ou bottleneck. O gargalo define o ritmo da linha, gere o seu output e determina a necessidade do volume de stocks intermédios designado por WIP ou Work in Progress.

- 2.7.1.6. *Takt Time* é o tempo de ciclo calculado em função da procura. Contrariamente ao tempo de ciclo tradicional, não deverá ser condicionado pelo bottleneck. A flexibilidade dos processos é fundamental para a implementação efetiva do takt time.

$$\text{Takt. time} = \frac{\text{tempo disponível}}{\text{procura}} \quad [\text{EQUAÇÃO 8}]$$

### 3. Apresentação da Empresa

Neste capítulo faz-se a apresentação e uma breve descrição da História do Grupo Salvador Caetano, seguindo-se a apresentação da empresa do grupo e o departamento onde foi realizado o projeto. - A CaetanoBus e o Departamento de Engenharia de Processo e Manutenção.

#### 3.1. História Grupo Salvador Caetano

O Grupo Salvador Caetano iniciou a sua atividade em 1946, com a fundação da empresa “Martins, Caetano & Irmão, Lda.” com o fabrico de carroçarias para autocarros, tendo sido a primeira em Portugal a fabricar estruturas totalmente metálicas. Em 1966, inaugurou a unidade fabril de Vila Nova Gaia. No ano de 1968, passou a ser o distribuidor exclusivo da Toyota em Portugal e, três anos depois, inaugurou a unidade fabril de Ovar.

O Grupo está, atualmente, presente em vários países para além de Portugal, como Reino Unido, Espanha, Alemanha, Cabo Verde, Angola e, mais recentemente, em Marrocos, China e

Colômbia sendo responsável por mais de 6500 postos de trabalho. Divide-se em três sub-holdings e duas empresas na área industrial:

Salvador Caetano Auto, S.A., que agrega o negócio de retalho automóvel no mercado ibérico; Toyota Caetano Portugal (SGPS), S.A., responsável pelo negócio industrial e pela representação automóvel da Toyota; Salvador Caetano.Com (SGPS), S.A., que representa o negócio na área das tecnologias de informação; CaetanoBus, S.A., na área de produção de carroçarias e chassis para autocarros em todo o mundo e recentemente a Caetano Aeronautic S.A., para a produção de componentes para indústria aeronáutica.

### 3.2. A CaetanoBus

A CaetanoBus é hoje a mais importante e bem equipada construtora de autocarros e carroçarias para autocarros em Portugal. A Empresa CaetanoBus iniciou a sua atividade em 2 de Janeiro de 2002, fruto duma parceria entre o Grupo Salvador Caetano e o Grupo DAIMLER. Atualmente emprega cerca de 500 colaboradores. É certificada desde 2002 segundo a NP EN ISO 9001:2000 pela APCER, e mais tarde em 2004 é realizada a certificação ambiental segundo a NP EN ISO 14001:2004 pela mesma organização. Em Novembro de 2009 o Grupo Salvador Caetano adquiriu a totalidade do capital passando a ser o único titular da Empresa.


A marca CaetanoBus ultrapassou os limites das fronteiras portuguesas há muito tempo, sendo hoje reconhecida como uma referência em inovação, qualidade, design e na confiabilidade dos seus produtos. O Grupo Salvador Caetano desde sempre se destacou pela sua presença internacional e pelo cariz fortemente exportador. Contudo em função das alterações no mercado mundial, está a tornar-se cada vez mais importante estabelecer um nível competitivo de gestão fundamentado em estratégias *Customer-Order-Based Management* (COBM). Neste sentido, atualmente a CaetanoBus é uma empresa estrategicamente focada no cliente, com uma orientação “*Engineering to Order*”, isto é, uma empresa industrial que produz produtos complexos, altamente customizados e segmentados com um volume variável. Esta estratégia não se trata simplesmente de uma atitude ousada em relação a novos mercados e desafios mas sobretudo a necessidade de criar e manter vantagens competitivas.

Para responder aos desafios atuais e às exigências dos clientes, o *layout* produtivo está atualmente dividido em 2 linhas de produção *mix* altamente flexíveis e uma linha para a produção de autocarros de aeroporto. São desenvolvidas e produzidas carroçarias Caetano, montadas em chassis de várias marcas e com diferentes especificações. Os Produtos destinam-se a serviços de Turismo, Transporte Urbano e serviço de Aeroporto.



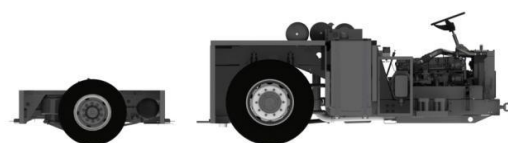
**Figura 13** - Carroçarias

A maioria da produção destina-se ao mercado de exportação, sobretudo países da Europa central como Inglaterra e Alemanha, Médio Oriente, China e Norte de África.

 Ano	 Volume de Vendas	 Unidades	 Colaboradores	 Exportação
2013	≈43 M€	364	500	90%
2014	≈50 M€	431	612	95%

**Figura 14** - Indicadores Ano 2013 e 2014

Além do desenvolvimento e produção de carroçarias, a CaetanoBus, é a primeira empresa Portuguesa a produzir chassis de autocarros. Nesta área tem projetos no desenvolvimento de chassis elétricos para autocarros de passageiros e de aeroporto



**Figura 15**- Chassis

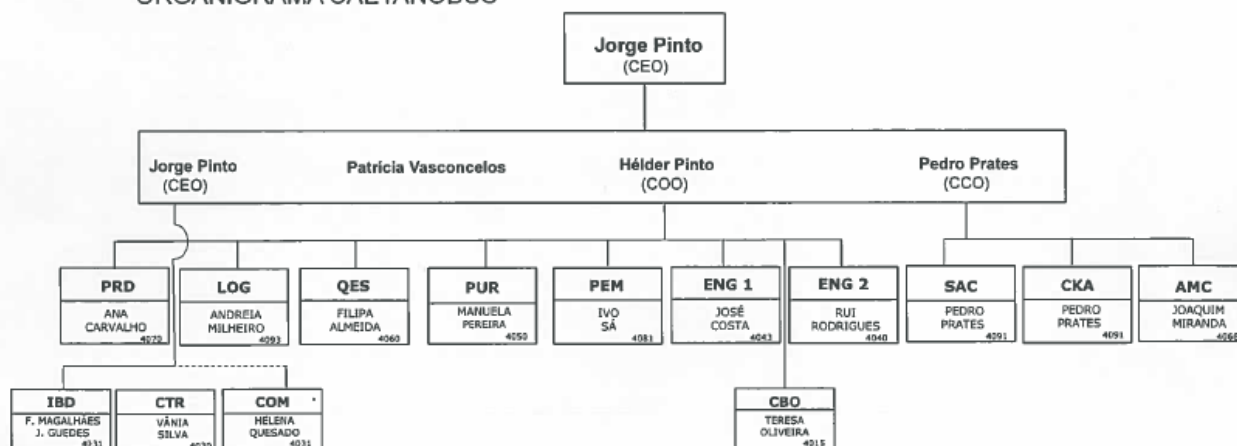
Paralelamente retomou-se a produção de CKD. Os CKDs são conjuntos de partes de autocarros para exportação e posterior montagem das carroçarias nos países recetores – China, e Marrocos. A decisão para a recuperação desta atividade deve-se sobretudo à expansão do mercado Asiático e Africano. A vantagem da decisão para a produção dos CKDs deveu-se sobretudo ao facto de as taxas sobre os componentes importados serem mais baixas do que as taxas sobre veículos acabados uma vez que têm implícito um valor acrescentado devido por à fomentação da empregabilidade local.

A decisão para sediar as fábricas para a montagem dos CKDs na China e em Marrocos fundamentou-se sobretudo no facto de serem países com mercados em expansão mas com tecnologia mais atrasada. Este último aspeto permite à CaetanoBus vantagens competitivas face às empresas locais com tecnologias de fabrico menos avançadas.

### 3.2.1. Organigrama e Organização Funcional.

4. A CaetanoBus encontra-se organizada em departamentos funcionais:
5. Departamento da Produção (PRD),
6. Departamento da Engenharia de Processo e Manutenção (PEM),
7. Departamento da Logística (LOG)
8. Departamento de Desenvolvimento de Chassis e Veículos Urbanos (ENG1)
9. Departamento de Veículos e Turismo e Homologações (ENG2)
10. Departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança (QES)
11. Departamento de Compras (PUR)
12. Departamento de Vendas Caetano (SAC),
13. Departamento de Após-Venda (AMC) e, por fim,
14. Departamento de Gestão de Clientes (CKA)
15. Departamento de Controlo de Gestão (CTR)
16. Departamento de Comunicação e Marketing (COM)
17. Departamento de Projetos Internacionais
18. Departamento de Produção de OVAR (CBO)

ORGANIGRAMA CAETANOBUS



\* O departamento de COM passa a estar integrado, através da prestação de serviços, na nova Divisão de Pessoas, Marca e Comunicação do GSC

CEO - Chief Executive Officer

COO - Chief Operating Officer

CCO - Chief Commercial Officer

PRD - Direção Produção / Department Head Production

LOG - Direção Logística / Department Head Logistics

QES - Direção Qualidade, Ambiente e Segurança / Department Head Quality, Environment and Safety

PUR - Direção Compras / Department Head Purchasing

PEM - Direção Engenharia de Processo e Manutenção / Department Head Process Engineering and Maintenance

ENG1 - Direção Desenvolvimento de Chassis e Veículos Urbanos / Department Head Development of Chassis and City Buses

ENG2 - Direção Desenvolvimento de Veículos Turismo e Homologações / Department Head Development of Coaches and Homologations

SAC - Direção Vendas CAETANO / Department Head Sales CAETANO

CKA - Gestor de Cliente / Customer Key Account

AMC - Direção Após-Venda / Department Head After-Market Caetano

IBD - Projetos Internacionais / International Business Development

CTR - Controlo de Gestão / Controlling

COM - Comunicação e Marketing / Communication and Marketing

CBO - Responsável Fábrica CaetanoBus Over / CaetanoBus Over Section Manager

CB 215A

Elaborado por: COM

Emissão: 12/01/2015

Aprovado: JP

Entrada em vigor: 12/01/2015

Figura 16 - Organograma CaetanoBus

### 3.2.2. Departamento de Engenharia de Processo e Manutenção:

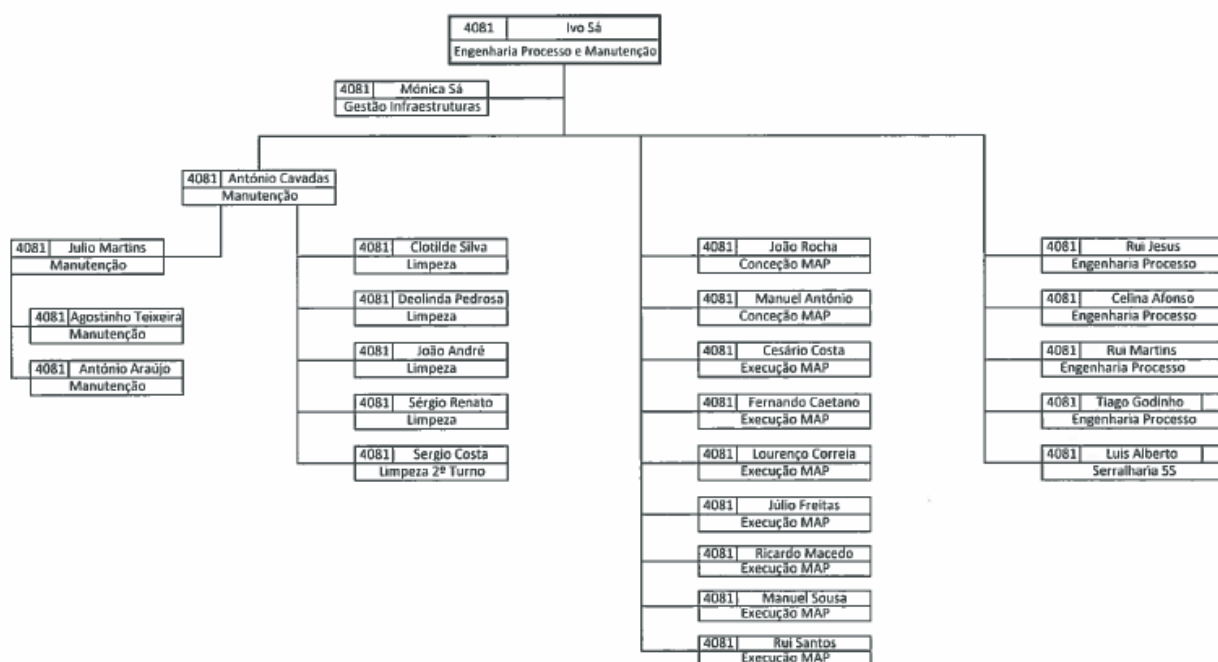
O projeto desenvolvido no âmbito desta dissertação foi realizado no Departamento de Engenharia de Processo e Manutenção (PEM).

Destacam-se as suas principais funções e atividades:

- Intervir nas várias fases de desenvolvimento de produto de forma a assegurar a sua exequibilidade na linha de produção, de acordo com as especificações do cliente, do planeamento, dos níveis de qualidade, dos custos estabelecidos e cumprindo os requisitos ambientais e de segurança no trabalho;
- Identificar e implementar, continuamente, eixos de melhoria dos indicadores de produtividade assegurando a qualidade do produto e as normas de ambiente e segurança;
- Realizar a gestão das infraestruturas e equipamentos;
- Assegurar a comunicação de problemas detetados de forma a garantir o seu acompanhamento e resolução pelos responsáveis;

- Corresponsável pelo cumprimento e implementação de oportunidades de melhoria na sua área de responsabilidade

## ORGANIGRAMA – PEM



CB 215-A

Elaborado por: *Mónica Sá*

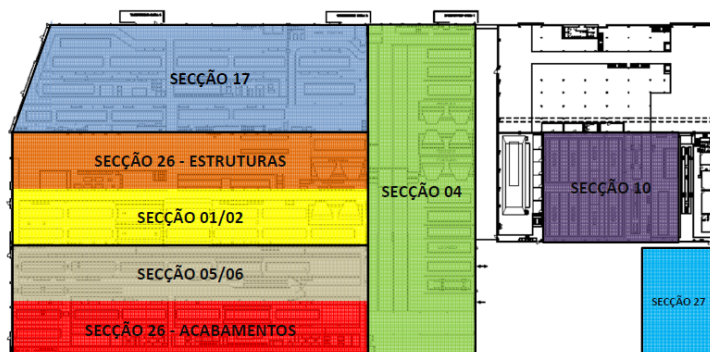
Emissão: 09/12/2014

Aprovado: HP

Entrada em vigor: 09/12/2014

**Figura 17** - Organograma Engenharia de Processo e Manutenção

## 3.3. Organização Layout Fabril – Linhas e Secções



### LEGENDA:

SECÇÃO 17 – Soldadura/Serralharia e Pré-Montagem Estruturas  
 SECÇÃO 01/02 – Linha de Montagem Estruturas e Chapeamento  
 SECÇÃO 04 – Pintura  
 SECÇÃO 05/06 – Linha de Montagem Acabamentos  
 SECÇÃO 26 – Linha de Montagem COBUS  
 SECÇÃO 10 – Preparação para Entrega  
 SECÇÃO 27 – Protótipos e MAP (Meios Auxiliares de Produção)

**Figura 18** - Layout

### 3.3.1. Secção de pré Montagem de Estruturas

A Secção designa-se por Secção 4017.

Esta secção está dividida em duas áreas principais:

- Células de corte, quinagem e trabalho de banca – preparação da matéria-prima para a construção das estruturas
- Pré-montagem de estruturas – Construção das estruturas de suporte da carroçaria - estruturas da frente, traseira, estrados (alongamento e complementar), painéis laterais e tejadilho.



**Figura 19** - Secção 4017

### 3.3.2. Secção de Estruturas e Chapeamento

A Secção de Estruturas e Chapeamento é designada por Secção 4001 e Secção 4002 respetivamente.

Nestas Secções existem a Linha 1 e a Linha 2 (figura xxxx).

A Secção 4001 é constituída pelos postos 0, 1 e 2 das Linhas 1 e 2 tendo as seguintes designações:

	Posto 0	Posto 1	Posto 2
Linha 1	G01.00.1	G01.01.1	G01.02.1
Linha 2	G01.00.2	G01.01.2	G01.02.2

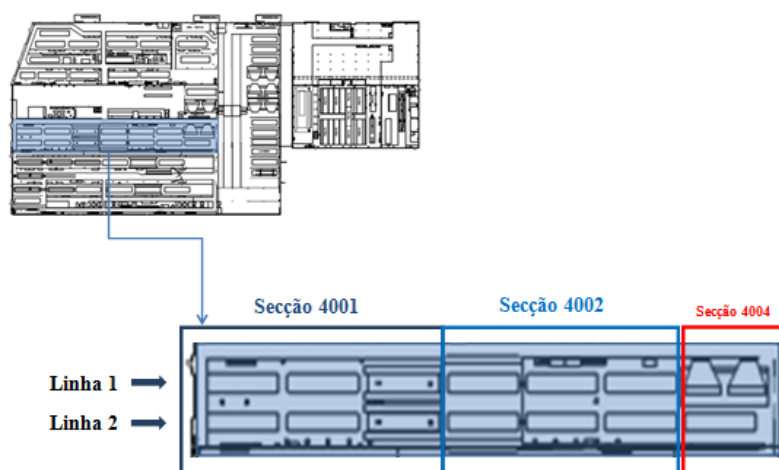


**Figura 20** - Secção 4001

A Secção 4002 é constituída pelos postos 3, 4 e 5 das Linhas 1 e 2:

	Posto 3	Posto 4	Posto 5
Linha 1	G02.03.1	G02.04.1	G02.05.1
Linha 2	G02.03.2	G02.04.2	G02.05.2

O último posto das Linhas 1 e 2 pertencem à Secção de Pintura (Secção 4004)



**Figura 21** - Layout Secção de Estruturas (4001) e Chapeamento (4002)

A Secção 4026 Estruturas é constituída pelos postos da Linha 3 de montagem de estruturas e chapeamento de autocarros em alumínio.

	Posto 0	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Posto 5
Linha 3	G26.00.3	G26.01.3	G26.02.3	G26.03.3	G26.04.3	G26.05.3



### 3.3.3. Secção de Pintura

A Secção pintura designa-se por Secção 4004. Trabalha em 3 turnos:

- Turno 1 – 07h30m às 16h30m (8 horas)
- Turno 2 – 16h30m às 00h00m (7h30)
- Turno 3 – 00h00m às 7h30m (7h30)

Fisicamente a Secção de Pintura está localizada no edifício principal (Edifício A) mas existem duas cabines no Edifício Caetano Aeronautic e Secção de Preparação de Entrega (4010) para operações de tratamento anticorrosivo e 2ª fase de pintura respetivamente.

### 3.3.4. Secção de Acabamentos

A Secção de Acabamentos tem denominações diferentes correspondentes a cada uma das linhas de Produção, como acontece na Secção de Estruturas.

Nestas Secções existem a Linha 1 e a Linha 2 correspondentes à Secção 4005 e Secção 4006 respetivamente e a Linha 3 correspondente à Secção 4026 Acabamentos

	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Posto 5	Posto 6
Linha 1	G05.01.5	G01.02.5	G01.03.5	G01.04.5	G01.05.5	Posto Qualidade
Linha 2	G05.01.6	G01.02.6	G01.03.6	G01.04.6	G01.05.6	Posto Qualidade
Linha 3	G26.06.3	G26.07.3	G26.08.3	G26.09.3	G26.10.3	Posto Qualidade



**Figura 22** - Secção de Acabamentos

### 3.3.5. Secção de Preparação de Entrega

A Secção Preparação de Entrega, denominada por Secção 4010 tem 5 linhas com dois postos cada. Três linhas para os autocarros provenientes da secção de acabamentos e duas linhas paralelas de dois postos, para a preparação de entrega e alterações a autocarros de Aeroporto standard de parque.

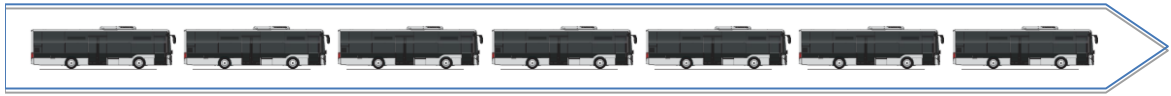
### 3.3.6. Secção de Protótipos

É na Secção de Protótipos, designada por 4027 que se faz o desenvolvimento de novos projectos. É nesta secção que se desenvolve todo o processo de prototipagem e onde se definem a maioria das necessidades, procedimentos e processos essenciais para a produção da unidade em série.

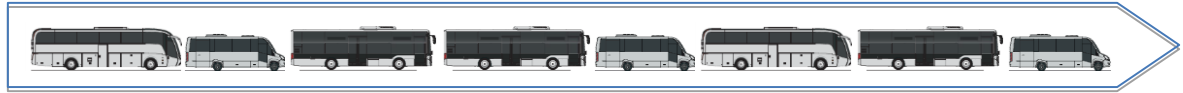
## 3.4. Tipos de Linha de Montagem

Quanto ao tipo de Linha de Montagem o Layout fabril é constituído por 2 linhas de montagem flexíveis - As Linhas de Montagem 1 e 2, usualmente Multiproduto ou Multimodelo. E uma Linha do tipo Modelo Único - A Linha 3 que é exclusiva à produção de autocarros de aeroporto.

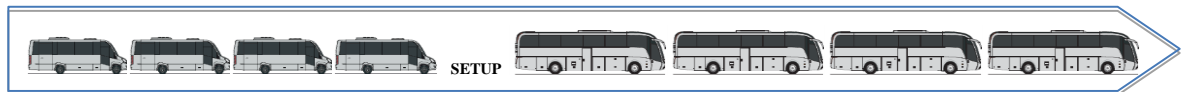
- Modelo Único (Linha 3)



- Modelos Mistos (Linha 1 e Linha 2)



- Multimodelo (Linha 1 e Linha 2)



**Figura 23** - Linhas de Montagem CAETANOBUS

### 3.5. Descrição do processo produtivo

Na generalidade o fabrico de carroçarias segue os seguintes processos de transformação:

- Corte, quinagem, curvatura e preparação da matéria-prima estrutural (tubos de aço);
- Pré-montagem das estruturas em gabaris<sup>14</sup>
- Construção da “gaiola”<sup>15</sup>
- Aplicação de tratamento anticorrosivo na estrutura<sup>16</sup>
- Montagem da gaiola no chassi<sup>17</sup> ou montagem das estruturas no chassi:
  - Estrado (s);
  - Estruturas dos painéis laterais;
  - Estrutura frente;
  - Estrutura da traseira;
  - Tejadilho.
- Chapeamento:
  - Montagem dos painéis laterais;
  - Montagem das tampas laterais;

<sup>14</sup> Gabari – Meio auxiliar de produção de estruturas.

<sup>15</sup> Processo de fabrico em gaiola – processo de fabrico e que as estruturas do autocarro são unidas, assemelhando-se a uma estrutura de uma “gaiola”. A “gaiola” é posteriormente soldada ao chassi no 1º posto da linha de montagem.

<sup>16</sup> Tratamento anticorrosivo – Operação de responsabilidade da secção de pintura ou operação realizada externamente caso de trate de tratamento anticorrosivo pelo processo de metalização.

<sup>17</sup> Operação no processo de fabricação por meio da construção da gaiola.

- Montagem dos estribos e plataformas.
- Pintura:
  - Preparação da superfície pela aplicação de betumes para correção de imperfeições;
  - Aplicação de subcapa – uniformização de substratos;
  - Tratamento anticorrosivo inferior e aplicação de produto anti-gravilha;
  - Lixagem – Lixagem geral do autocarro e correção de imperfeições pela aplicação de betume;
  - Esmaltagem de acordo com a especificação;
  - Remate final em preto – Extremidades.
- Acabamentos:
  - Montagem de interiores (fibras; chapeamento dos painéis; perfis de iluminação, tapete);
  - Montagens exteriores (faróis, espelhos);
  - Montagem de portas;
  - Montagem de vidros;
  - Montagem de bancos;
  - Montagem de varões.
- Preparação para entrega:
  - Preparação de entrega<sup>18</sup>;
  - 2ª Fase de pintura;
  - Cumprimento relatório/Certificação.

## 4. Contextualização do Projeto de Dissertação

Na CaetanoBus assiste-se a uma transição da produção de uma gama de produtos com baixa variedade e com uma procura estável para um cenário atual, resultante das alterações no mercado global, de alta variabilidade e incerteza na procura, grande variedade e segmentação de produtos, requisitos de qualidade superior e velocidade elevada de entrega.

Para se manter competitiva, a CaetanoBus tem vindo a implementar estratégias com vista à melhoria da flexibilidade dos sistemas produtivos, redução do lead time dos produtos, aumentar da eficiência global das linhas de montagem e reduzir custos.

Num primeiro contacto com a empresa constatou-se que num contexto operacional Engineering to Order<sup>19</sup>, face à estratégia empresarial focada no cliente e às exigências cada vez maiores impostas pelo mercado atual, não existia ainda o alinhamento esperado de todos os

---

<sup>18</sup> Preparações de Entrega – As operações variam em função da especificação

<sup>19</sup> *Engineering to Order* - Estratégia em que uma empresa projeta e fabrica produtos com base em requisitos muito específicos de clientes.

processos de suporte face às necessidades da produção como resultado final de toda a organização.

Verificou-se ainda uma cultura organizacional direcionada para a atuação corretiva e frequente ausência de uma atitude proactiva e de carácter preventivo ou de melhoria contínua. Muitos problemas são resolvidos corretivamente sem se garantir com alguma frequência a eliminação dos problemas definitivamente

Existem inúmeras e operações gargalo e consequentemente inúmeros *bottlenecks*.

Outro aspeto diz respeito à gestão da informação descentralizada, que dificulta o controlo e gestão das operações e uma gestão da produção baseada na experiência e pouco suportada em dados concretos e objetivos - ausência frequente de registos, históricos de séries, balanceamento das linhas produtivas e informações sobre dificuldades diárias do departamento de produção.

Observou-se a necessidade de atualização de procedimentos e instruções de trabalho uma vez que existem constantes alterações nas especificações que tornam os documentos obsoletos rapidamente. A falta de atualização assim como a dificuldade em gerir a implementação das alterações não garante uma uniformização e seguimento das operações de uma forma otimizada e promove a desresponsabilização, a falta de disciplina e de rigor na execução das operações. É evidente também uma população operacional relativamente envelhecida e renovação não contemplada e uma estrutura organizacional potenciadora de uma competição excessiva interdepartamental que se agrava devido a uma comunicação pouco orientada - por vezes os colaboradores não têm acesso ao mesmo tempo a informações importantes para o desenvolvimento das suas funções, alguns processos têm fluxos complexos, que dificultam por um lado a capacidade de resposta com a velocidade que seria ideal e são de difícil rastreabilidade.

O acompanhamento das unidades pelos departamentos de suporte é relativamente pobre o que promove o distanciamento e um desfasamento entre as necessidades da produção, a velocidade de respostas dos departamentos indiretos e a consequente entrega do produto ao cliente.

#### 4.1. Objetivos

Segundo informações recolhidas, as operações realizadas na Secção de Estruturas e Chapeamento influenciavam marcadamente as variáveis operacionais que afetam diretamente a produção e a eficiência global do processo pela falta de balanceamento e inúmeras falhas de qualidade.

Optou-se por estudar a secção de estruturas e chapeamento devido à maior influência, sobre as variáveis operacionais que afetam diretamente a produção e a eficiência global do processo:

- Produção;
- Paragens;
- Retrabalhos ou *reworks*;

- Rejeições/defeitos/falhas e não conformidades;
- Operações sem valor acrescentado.

Neste sentido o objetivo do projeto de dissertação foi a melhorar a eficiência da Linha de Montagem de Estruturas e Chapeamento do autocarro urbano A66 Bahrein pelo a partir de métodos de balanceamento de linha pela heurística do maior tempo e implementação projetos de Melhoria Contínua no processo produtivo

#### 4.2. Metodologia

Para compreender o funcionamento da Linha de Montagem de estruturas e chapeamento do autocarro urbano A66 Bahrein procedeu-se ao levantamento dos tempos e operações.

A metodologia de base seguiu as quatro atividades identificadas na seção “Metodologia”. Estas foram cumpridas com enorme rigor para que o resultado final fosse fiável e se evitasse a perda de oportunidades de melhoria resultantes de uma má aplicação do método.

As quatro etapas consideradas foram:

- Observação
- Recolha/registo de dados e informações
- Análise dos dados
- Proposta de novos métodos e/ou oportunidades de melhoria

A observação e a recolha e registos de dados de informações permitiu realizar o diagnóstico inicial e a análise dos dados e as propostas de novos métodos e oportunidades de melhoria compreendem as soluções para o aumento da eficiência.

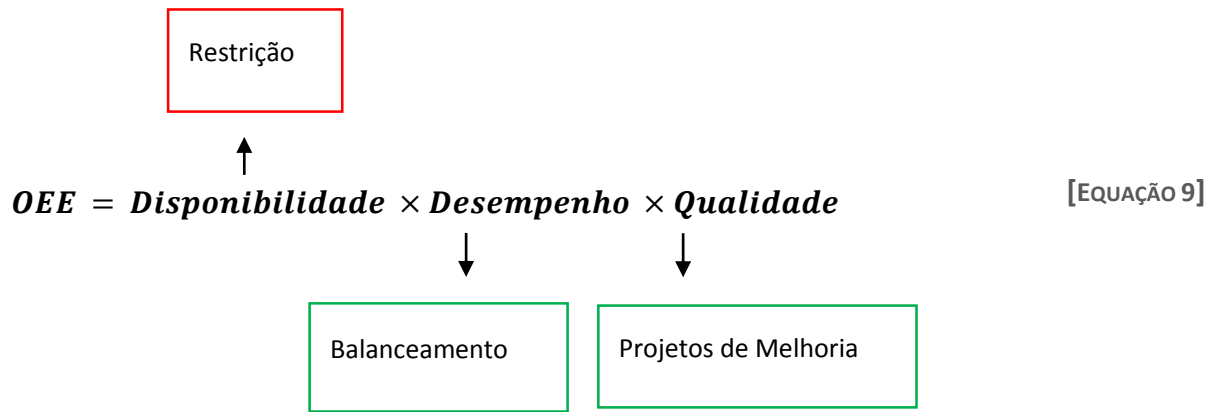
A monitorização dos projetos de melhoria seguiu a metodologia PDCA<sup>20</sup>.

Tendo como referência o índice OEE<sup>21</sup> constatou-se que este trabalho se focou na melhoria do desempenho e na qualidade do processo produtivo para aumento da eficiência da Linha de Montagem de Estruturas e Chapeamento. O Desempenho do processo produtivo foi melhorado pela implementação de métodos para balanceamento das operações na linha de montagem, a Qualidade foi melhorada pela implementação de soluções com base na resolução de estruturada de problemas e melhoria contínua do processo produtivo. A Disponibilidade foi uma das restrições identificadas.

---

<sup>20</sup> Ciclo da Melhoria Contínua – P – *Plan*; D – *Do*; C – *Check*; A – *Act*

<sup>21</sup> OEE - Fórmula simples e consolidada para medir a eficácia de um equipamento ou de um sistema de produção. O índice OEE por ser um índice de eficiência pode ser usado como um indicador das atividades de melhoria de processo por estar diretamente relacionados com perdas (Dal et al, 200).



Disponibilidade é a percentagem de tempo que os equipamentos (ou os recursos) estão disponíveis para serem utilizados durante a carga total de tempo possível.

$$Disponibilidade = \frac{Loading\ Time - Downtime}{Loading\ Time}$$

[EQUAÇÃO 10]

O Desempenho é uma medida de quão bem a máquina, o equipamento ou os recursos (pessoas) operam no tempo de operação.

$$Desempenho = \frac{Actual\ Output\ (units) \times theoretical\ Cycle\ Time}{Operating\ Time}$$

[EQUAÇÃO 11]

A Qualidade é uma medida do número de unidades que cumprem a especificação em comparação com o número de unidades produzido num dado período de tempo pré-determinado.

$$Qualidade = \frac{Actual\ output\ (units) - Defect\ amount\ (units)}{Actual\ output\ (units)}$$

[EQUAÇÃO 12]

A fim de validar o quadro conceptual, este projeto realizou-se através de um estudo de caso de campo – *Action Research*

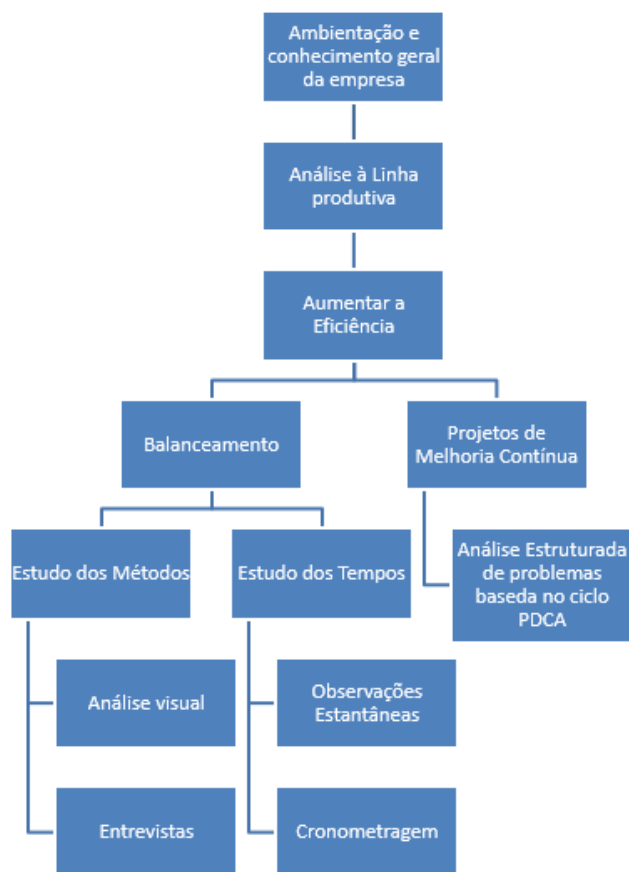
A metodologia *Action Research* pode ser entendida como uma variação de um estudo de caso e de uma investigação de campo (Galliers 1992). No estudo de caso pretende-se apreender a "realidade" com um grande detalhe sem ter influência nos fenómenos em estudo. Ao contrário, na *Action Research* há um duplo papel: participação e atuação na área de estudo e

simultaneamente avaliação dos resultados dessa participação. Esta dualidade implica dois objetivos no projeto (Tolvanen, 1998):

- a) Melhorar a situação atual da organização em estudo, assemelhando-se a qualquer desenvolvimento organizacional ou de consultoria;
- b) Contribuir para o conhecimento científico através da construção, validação, confirmação ou revogação de conceitos e teorias sobre o objeto de estudo e o seu comportamento.

O projeto iniciou-se com a integração na Empresa, seguindo-se um período de observação e diagnóstico. Posteriormente fez-se a recolha de dados quantitativos e qualitativos. Recolheram-se dados sobre as macro e micro tarefas de cada posto da Linha de Montagem de Estruturas e Chapeamento dos autocarros urbanos A66, com recurso a cronometragem de tempos, observação e levantamento de métodos e das tarefas em cada posto e elaborou-se um plano de ações fundamentado no ciclo PDCA para as operações mais críticas. Realizaram-se análises estruturadas de problemas para controlo, análise de causas e implementação dessas ações.

Foram aplicadas estratégias e ferramentas baseadas nos princípios do *Lean Manufacturing* e Melhoria Contínua como normalização do trabalho, ferramentas JIT e o envolvimento das pessoas. Propuseram-se ainda soluções para a eliminação dos diferentes tipos desperdício ao longo da Linha de Montagem das Estruturas e Chapeamento



**Figura 24** – Quadro conceptual da metodologia seguida.



Utilizou-se a seguinte fórmula como indicador das ações implementadas (Equação 2)

Em que:

- N - Número de postos de trabalho na linha de produção ou montagem;
- Tc - Tempo de ciclo;
- ti - Tempo médio correspondente à operação i;

$\sum t_i$  - Tempo total necessário para produzir uma unidade que corresponde à soma total das operações

$$\varepsilon = \frac{1}{N \cdot T_c} \cdot \sum_{i=1}^n t_i$$

## 5. Apresentação do problema

De Setembro 2014 e Janeiro de 2015 foi realizada uma encomenda de 88 autocarros urbanos com um tempo para entrega de 13 semanas, compromisso que determinou a decisão de adaptação das três linhas de montagem para a produção do modelo requerido, o Urbano A66 Bahrain e o balanceamento destas linhas para a produção deste modelo<sup>22</sup>.

As características da organização e do processo de desenvolvimento do produto determinaram várias revisões do planeamento da produção. No primeiro planeamento da produção da encomenda dos 88 autocarros urbanos A66, foram definidos diferentes *takt time* para as Linhas de Montagem 1, 2 e 3. A Linha 1 foi planeada para um *takt time* de 6h40m (6 unidades/semana), a Linha 2 para um *takt time* de 10h (4 unidades/semana) e a Linha 3 para um *takt time* de 8h (5 unidades por semana), contudo as datas de entrega dos produtos ao cliente, os atrasos de fornecedores e alguns problemas de especificação determinaram e o cálculo de novos *takt time* para as três linhas.

**Tabela 1** - Planeamento e replaneamentos da Produção A66 Bahrain

Plano de Produção	Linhas de Produção	Takt Time	Unidades por semana
Plano Original	Linha 1	8h00m	5
	Linha 2	6h40m	6
	Linha 3	10h00m	3

<sup>22</sup>Balanceamento de linha de montagem de modelo único.

Plano de Produção	Linhas de Produção	Takt Time	Unidades por semana
Replaneamento I	Linha 1	8h00m	5
	Linha 2	8h00m	5
	Linha 3	10h00m	4

Plano de Produção	Linhas de Produção	Takt Time	Unidades por semana
Plano Final	Linha 1	10h00m	4
	Linha 2	6h40m	6
	Linha 3	8h00m	4

### 5.1. O Modelo Urbano A66

Com uma estratégia focada no cliente e um modelo de negócio do tipo *Engineering to Order*, existe uma segmentação elevada de Modelos com diferentes especificações.

O Modelo em estudo neste projeto é o Lion's City CBN050d23 designado por A66 Barhain. É um modelo inovador por ter constituintes estruturais (painéis laterais e tejadilho) em alumínio, diminuindo significativamente o peso em relação aos modelos construídos totalmente em aço e com a maioria das uniões que constituem a estrutura do autocarro serem aparafusadas<sup>24</sup>.

O A66 Barhain é um autocarro urbano com chassi MAN e Carroçaria Caetano.

Tem um chassi Modelo A66 €4 Diesel com as seguintes especificações:

- Motor tipo – D0836 LOH55
- Motor nº cilindros – 6
- Potência – 206kW (280 hp)
- Caixa – ZF automática
- Peso máx. Eixo Frente – 5600 kg
- Peso máx. Eixo Tás – 10000 kg
- Peso máx. Total – 15600 kg

A Carroçaria possui uma lotação para 69 passageiros e um lugar para Cadeira de Rodas.

Tem uma distância entre eixos (DEE) de 5150mm, o comprimento total é de 10500mm, a largura de 2380mm e a altura é de 3125mm.

---

<sup>23</sup> CBN050d – Código de caracterização de cada modelo fabricado na fábrica CAETANOBUS

<sup>24</sup> No processo produtivo tradicional da CAETANOBUS utiliza-se frequentemente o processo de gaiola - processo de pré-montagem onde a estrutura dos autocarros é totalmente constituído por construções soldadas.

Foi considerado um projeto de grau de dificuldade C



**Figura 25** – Modelo Urbano A66 Barhain

## 5.2. Trabalho Desenvolvido

Para uma melhor compreensão do trabalho realizado, que na realidade é um processo contínuo e com constantes retrocessos e reanálises apresenta-se inicialmente uma descrição dos métodos de recolha e de análise dos dados que permitiram estabelecer o ponto de situação inicial da Linha de Montagem estudada (diagnóstico) e num capítulo seguinte apresentam-se as soluções e os ganhos obtidos.

Por questões de organização e para facilitar a compreensão do trabalho desenvolvido em cada um dos pontos apresenta-se inicialmente exemplos à análise realizada à Secção de Estruturas, seguindo-se a análise à Secção de Chapeamento

## 5.3. Diagnóstico Inicial

### 5.3.1. Observação

Foi realizada pelo método de visualização e a medição dos tempos foi por cronómetro digital graduado em minutos e horas decimais. O período de observação decorreu durante 4 semanas. Paralelamente à observação desenvolveu-se um documento para registo das operações e tempos. Como base de trabalho, para a observação e registo das operações, recorreu-se ao arquivo das macros tarefas por posto, já recolhidas e registadas anteriormente.

### 5.3.2. Recolha/registo de dados e informações

A observação e registo das operações foram realizados tendo por base as macro tarefas por posto. Numa primeira fase e com o objetivo de envolvimento no processo começou-se por realizar um acompanhamento das operações e uma observação não sistematizada. Neste período, questionaram-se as chefias acerca de alguns aspetos técnicos e sobre aspetos não mensuráveis do trabalho que em curso. Posteriormente, sem interferir nas operações, iniciou-se a cronometragem e registo das diferentes macros tarefas posto a posto, tendo também em consideração a mensuração de paragens, retrabalho e operações de valor não acrescentado. Como a maioria das tarefas são realizadas por mais que uns operadores, em todas estas situações, cronometraram-se e registaram-se as operações por operador.

Mesmo tendo em consideração que o método de recolha de tempos não foi o ideal, por se ter apenas uma amostragem, os tempos recolhidos forneceram uma base de análise para a carga de cada tarefa na realização de uma determinada operação, a partir das quais se fez o plano de balanceamento.

[illegible]

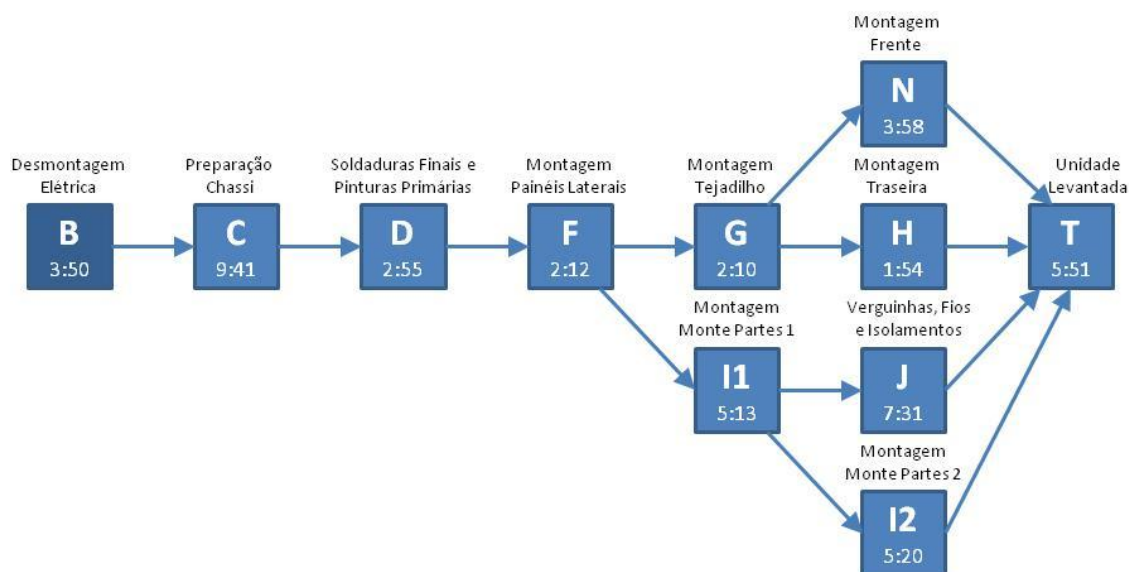
## 5.4. Análise de Dados inicial

### 5.4.1. Secção de Estruturas

62

no balanceamento das micro operações constituintes de cada macro, não se procedendo à alteração da sequência pré-definida destas operações.

Na figura em baixo apresenta-se o diagrama de precedências da secção de Estruturas



**Figura 27** – Diagrama de Precedências da Secção de Estruturas

As operações na Secção de Estruturas iniciam com a Desmontagem Eletromecânica. Esta macro denominou-se por Macro B por existir uma operação de inspeção anterior (Operação A) da responsabilidade do Departamento da Qualidade.

Nesta macro tarefa estão incluídas intervenções elétricas e mecânicas. Estas operações consistem na desmontagem de todo o material do chassi, que irá ser posteriormente montado ao longo de toda a Linha de Montagem, cujo tempo está contabilizado neste estudo de balanceamento.

A Preparação do Chassi (Macro C) vem na sequência das operações anteriores. Esta macro tarefa é o bottleneck da secção de Estruturas. A sua análise é apresentada pormenorizadamente num ponto abaixo – Botleneck

Posteriormente às operações de Preparação do Chassis são executadas as Soldaduras Finais e Pinturas Primárias (Macro D). Esta macro consiste em cumprir critérios da qualidade exigidos para os processos de soldadura e de proteções anticorrosivas, que são exigidos pelas respetivamente.

A Montagem dos Painéis Laterais (Macro F) exige que todas as operações atrás referidas sejam executadas para que se comece a intervencionar na sua junção ao chassi.

A Montagem dos Painéis Laterais só está finalizada com o término da Montagem do Tejadilho (Macro G), com a fixação dos painéis ao tejadilho. Entre estas operações procedem-

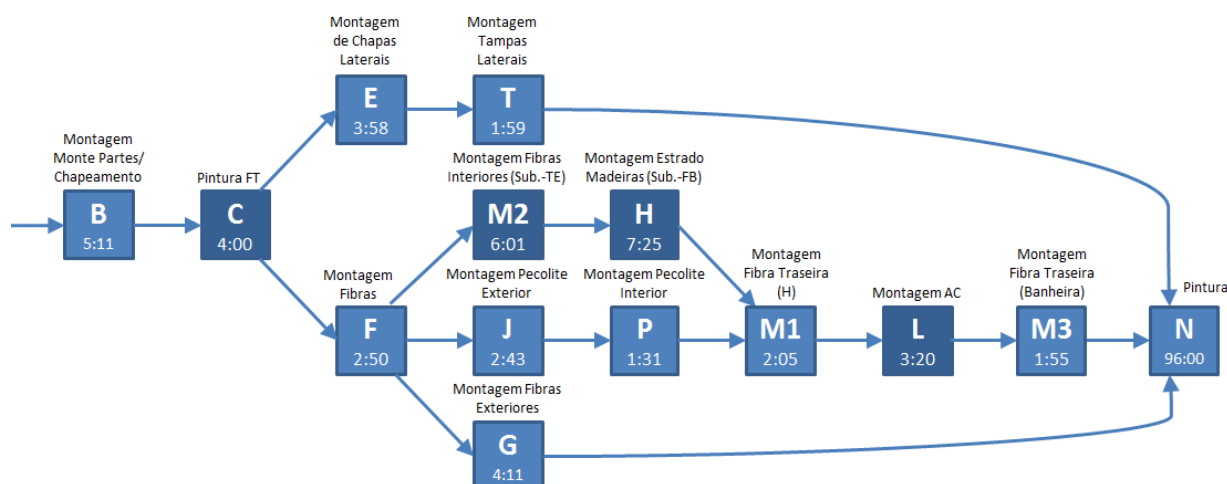
se tarefas paralelas dentro da unidade pertencentes à Montagem Monte Partes<sup>25</sup> (Macro I1). Finalizadas as operações de fixação do tejadilho à unidade, precedem as operações de Montagem da Frente (Macro N) e Montagem da Traseira (Macro H). Ambas as macros englobaram melhorias que otimizaram as operações das suas montagens e posteriores acoplamentos.

Em sequência das operações de Montagem Monte Partes, são ainda realizadas as micro da Montagem de Monte Partes (Macro I2) e tarefas paralelas de aplicação de Fios Elétricos, Verguinhas e Isolamentos (Macro J), até às operações finais na linha de estruturas que são concluídas com a Unidade Levantada (Macro T).

#### 5.4.2. Análise de precedências Secção de Chapeamento

Depois das operações na secção de estruturas iniciam-se tarefas relacionadas com o chapeamento, na secção 4002. Na figura em baixo está representado o levantamento das restrições de precedências de operações com a equipa<sup>26</sup> da Secção de Chapeamento.

**Figura 28** - Diagrama de Precedências da Secção de Chapeamento



Nesta secção iniciam-se tarefas com a Montagem de Monte Partes/Chapeamento (Macro B). Depois de todas as tarefas da macro B finalizadas, são realizadas operações de

<sup>25</sup> Monte Partes – Define-se por um conjunto de componentes e elementos pertencentes à estrutura do Estrado de Alongamento e Estrado Complementar, que serão posteriormente acoplados durante a linha de montagem.

<sup>26</sup> A Equipa de chapeamento é constituída pelo Chefe de Secção e por um Chefe para os três Postos.

Pintura (Macro C) - proteção anticorrosiva de toda a estrutura em aço soldada após o tratamento de metalização<sup>27</sup>. Estas operações são da responsabilidade da Secção 4004.

Posteriormente, em operações paralelas, faz-se a Montagem das Chapas (Macro E), Tampas (Macro T), Fibras e Madeiras (soalho), que vão começar por fazer a primeira cobertura a todos os elementos constituintes da estrutura do chassi e carroçaria.

As Montagem das Fibras (Macro F, M2, J, G, M1 e M3) constituem as operações com mais consumo de tempo desta secção. Estas operações têm as tarefas de preparação bem definidas, para que a montagem das fibras na estrutura da unidade sejam executadas com facilidade.

Ao constatar-se que na montagem da fibra traseira superior, era necessário, em todas as unidades alterar a estrutura, esta operação foi sujeita a uma análise e implementação de melhorias. Colocaram-se inúmeras hipóteses, que foram sendo refutadas ao longo do processo de análise realizada. Com o envolvimento dos departamentos de Engenharia, Qualidade e Produção, os retrabalhos na estrutura foram totalmente eliminados.

Para além das Montagens das Fibras, na secção de chapeamento, existem ainda as operações de Montagem de Chapas Laterais (Macro E), à qual se seguem a Montagem das Tampas Laterais (Macro T) e tarefas de montagem de materiais aos painéis laterais.

A macro de Montagem do Estrado de Madeira (Macro H) é uma operação subcontratada, não incluída no estudo. A aplicação do estrado de madeira, é exigida dentro dos tempos necessários para cumprir planos de produção.

As Montagens de Pecolite, Exterior (Marco J) e Interior (Macro P), são processos de colagem do isolamento da Estrutura do Tejadilho. Posteriormente a esta aplicação poderá ser executada a operação macro de subcontratação, Montagem do Ar Condicionado (Macro L). Numa unidade em produção, a pecolite exterior descolou, por um operador estar sobre a mesma para tarefas de aplicação do AC. Para evitar este problema propôs-se uma alteração à sequência de operações uma vez que para um *takt* de 6h40m não se conseguia evitar a não conformidade. A macro de montagem do AC e as operações precedentes passaram a ser executadas no último posto da secção antes da entrada na Secção de Pintura, para cumprir os critérios de colagem definidos pelo fornecedor.

## 5.5. Análise das Macros

Foi realizada uma análise à Secção 4001 e 4002 (Secção de Estruturas e Secção de Chapeamento respetivamente) com base nos valores levantados.

---

<sup>27</sup> Processo de Metalização- Tratamento anticorrosivo

Começou-se por realizar para cada macro (somatório ( $\Sigma$ ) das micro operações) uma decomposição, como se um único operador executasse uma operação – Operação por Operador (OPO).

Como no ponto anterior, para facilitar a compreensão do trabalho desenvolvido, apresentam-se as análises e resultados por secção.

Começa-se por apresentar a situação inicial da Secção de Estruturas e depois da Secção de Chapeamento.

### 5.5.1. Secção de Estruturas situação inicial

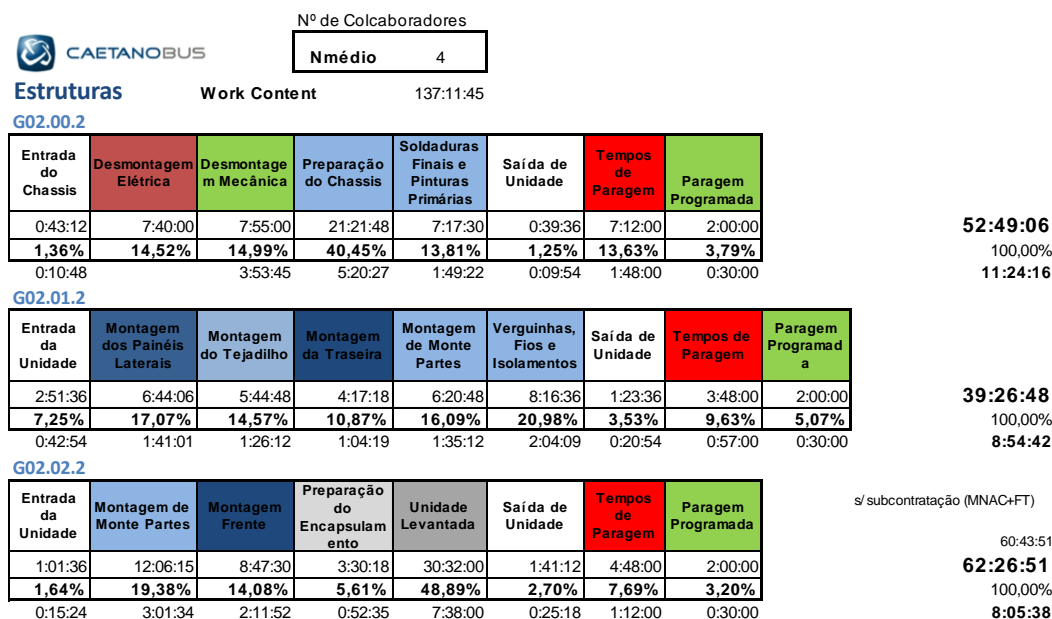


Figura 29 - Análise Macros Estruturas

Pela análise da tabela anterior verifica-se que os postos com maior *work content* são o Posto 2 e o Posto 0 respetivamente. Contudo tendo em consideração as restrições de precedências, o Posto 0 é o Posto “gargalo”, uma vez existem operações do Posto 2 que são realizadas em paralelo, eliminando-se a restrição da sequência linear das tarefas.

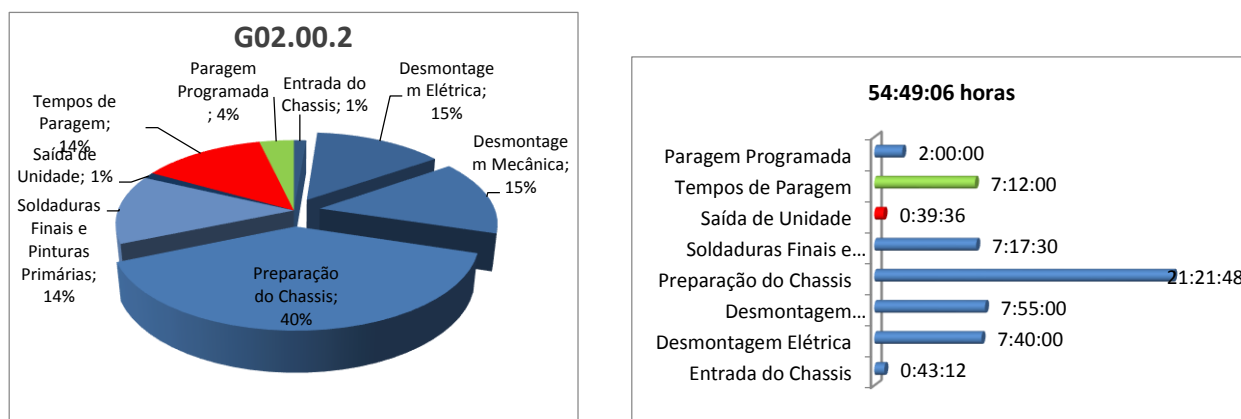




Figura 30 - Percentagens e tempos Posto 0

Pela análise dos gráficos da figura 30 verifica-se que a operações “gargalo” é a Preparação do Chassi, que consome 40% do tempo de ciclo do Posto.

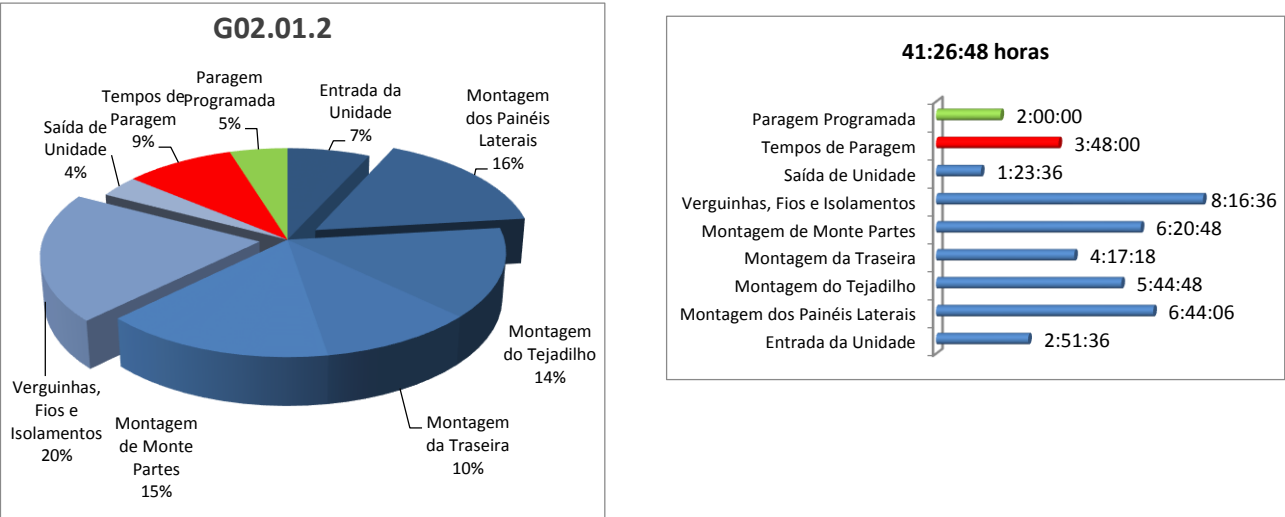


Figura 31 – Percentagem e tempos do posto 1

No posto 1 (G02.01.00) pela análise dos gráficos da figura 31 verifica-se que as operações estão mais balanceadas. A operação com maior consumo de tempo é a Montagem de Verguinhas, Fios e Isolamentos (correspondente a 20% do tempo total do posto 1). Contudo, nesta macro, existem operações sem restrições de precedência que são realizadas em paralelo.

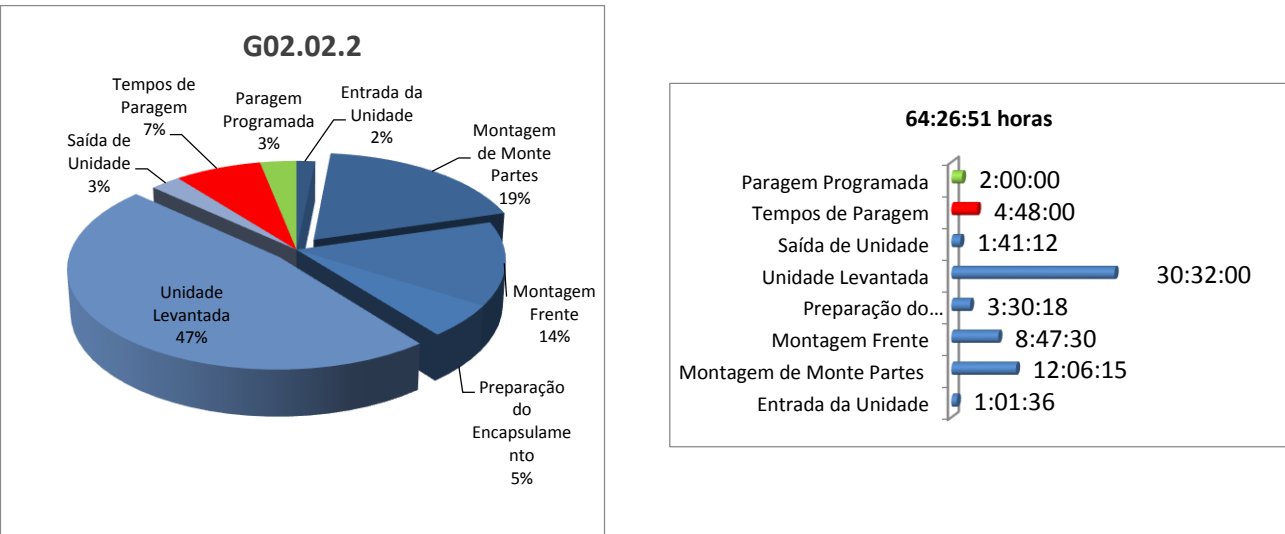
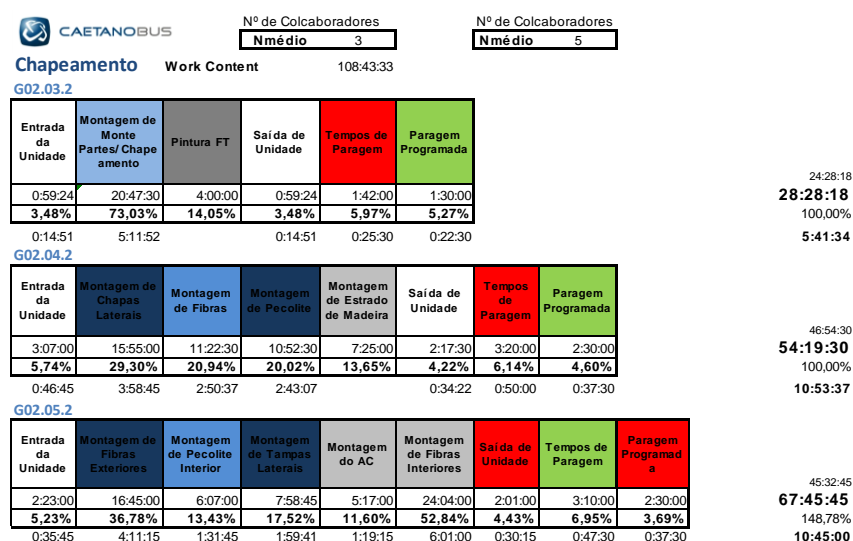


Figura 32 - Percentagens e tempos Posto2

Pela análise dos gráficos da figura 32 correspondentes às percentagens e tempos do posto 2 observa-se que a operações são pouco balanceadas e que operação com maior gasto de tempo é quando a unidade está levantada (40% do tempo total do posto 2). No entanto, como não se verificam restrições de precedência. O tempo de ciclo do posto não ultrapassa o tempo de *takt time* definido pela procura.

### 5.5.2. Secção de Chapeamento situação inicial



Pelos dados representados na tabela constata-se que o posto com maior *work content* é o Posto 5. Sendo que o Posto 4 também tem um *work content* aproximado. Nesta Secção tem-se necessidade de executar tarefas no Posto 3 que está com folga relativamente ao *takt*. Contudo o Posto 5 está sobrecarregado de operações subcontractadas e força este posto a um número maior de operadores.

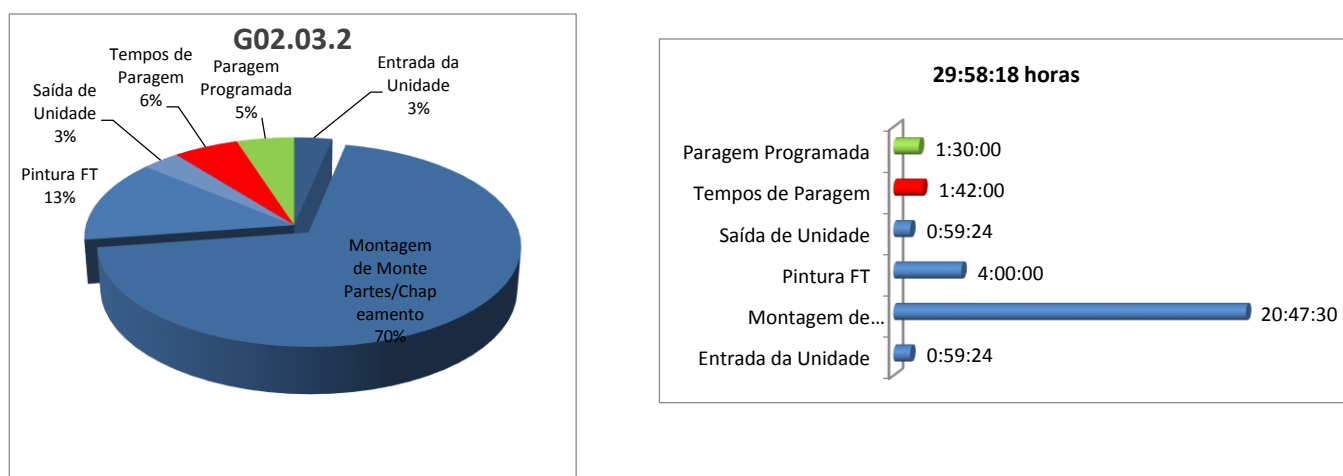
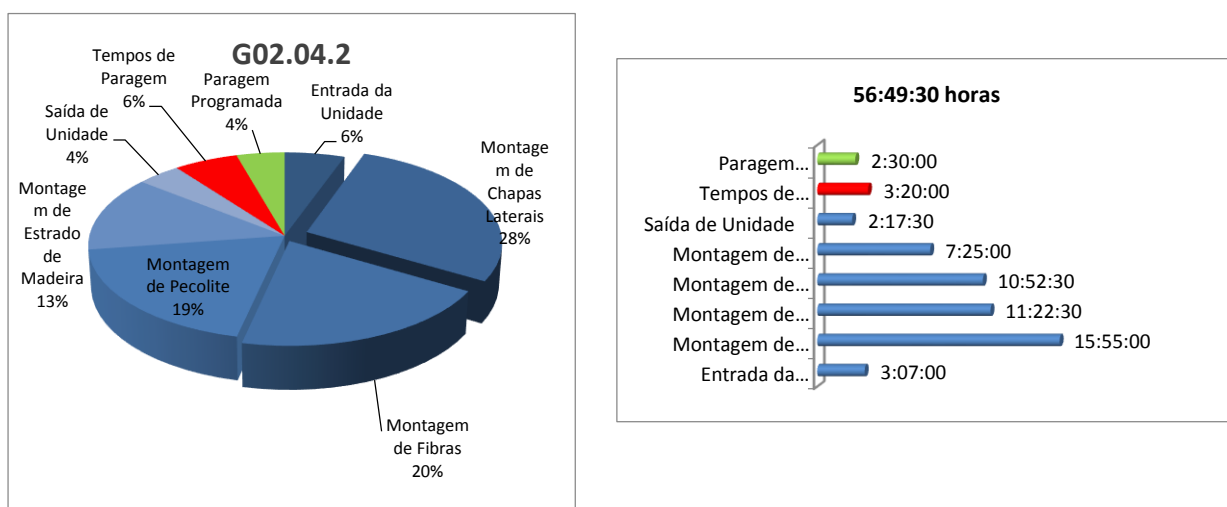


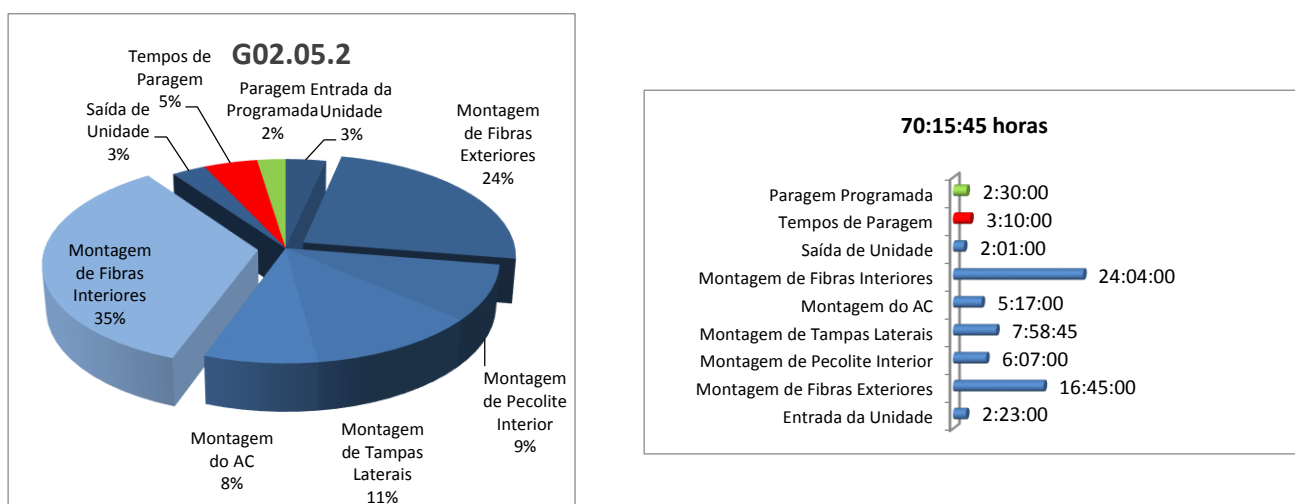
Figura 33 - Percentagens e tempos Posto 3

Pela análise dos gráficos da figura 33 verifica-se que a macro Montagem de Monte Partes/Chapeamento consome 70% do tempo de ciclo do Posto, sendo que são tarefas executadas dentro da unidade e em paralelo.



**Figura 34** - Percentagens e tempos Posto 4

Pela análise dos gráficos da figura 34 averigua-se que as macros Montagem de chapas laterais, Montagem de Fibras e Montagem de Pecolite consomem cerca de 60% do tempo de ciclo do Posto, sendo que são tarefas executadas em paralelo.



**Figura 35** - Percentagens e tempos Posto 5

Pela análise dos gráficos da figura 35 verifica-se que a macro Montagem de Monte Partes/Chapeamento consome 70% do tempo de ciclo do Posto, sendo que são tarefas executadas dentro da unidade e em paralelo.

## 5.6. Síntese da Situação Inicial

Após a recolha e análise de tempos e tarefas calculou-se uma eficiência inicial da Linha de montagem de Estruturas e Chapeamento de 49,40%.

<b>Work Content Total</b>	245:55:18	
<b>Sub-contratação</b>	35:21:00	
<b>Tempo Total Interno</b>	269:55:18	
<b>Tempo produção semanal</b>	40:00:00	horas
<b>Nº Unidades por semana</b>	6	carros/ semana
<b>Takt time (horas)</b>	6:40:00	horas
<b>Nº Pessoas</b>	40,49	
<b>Nº Pessoas final</b>	41	
<b>Nº de Postos</b>	5	
<b>Funcionários/ Posto</b>	8,2	→ 9
<b>Tempo de Ciclo</b>	53:59:04	

<b>Nº de Postos</b>	6
<b>Tempo de Processamento</b>	160:00:00
<b>Takt Time</b>	6:40:00
<b>Tempo de Ciclo</b>	26:40:00
<b>Nº Colaboradores</b>	24
<b>Nº Colaboradores / Posto</b>	4
<b>Eficiência (Produtividade)</b>	49,40%

Figura 36 - Eficiência Operacional Inicial

## 5.6. Balanceamento das Macros Tarefas por Posto

No seguimento da análise inicial às Macros Tarefas e suas precedências seguiu-se um estudo mais detalhado de cada macro com o intuito de otimizar as Macros Tarefas mais críticas. As macros tarefas em cada posto são otimizadas pelo balanceamento das Micro Tarefas que as constituem.

Para se proceder ao balanceamento das operações começou-se pelo registo e listagem da sequência das Macro e respetivas Micro Tarefas (figura 37).


 CAETANOBIUS	<b>Macro/Micro-Tarefas Estruturas A66</b>	<b>PEP: 143170012</b>	Validação PEM:
		<b>Posto G02.01.2</b>	Validação QES:
<b>PEM</b>			
<b>DESIGNAÇÃO</b>			<b>PEM</b>
		<b>Nº Oper.</b>	<b>Tempos (min)</b>
<b>Entrada da Unidade</b>			<b>00:39</b>
1	Alocar c/ Ponte Painéis Laterais e Tejadilho	4	00:13
2	Deslocação unidade	4	00:11
3	Calçar unidade	4	00:15
<b>Montagem dos Painéis Laterais</b>			<b>02:12</b>
4	Colocar c/ Ponte Painéis Laterais	4	00:19
5	Fixar/Nivelar Painéis com grampos e macacos	4	00:20
6	Furar placas de apoio lateral nos Painéis Laterais e colocar parafusos	2	01:33
<b>Montagem do Tejadilho</b>			<b>02:10</b>
7	Colocar na Chanca patilhas para fixação aos Painéis Laterais	2	00:10
8	Colocar c/ Ponte Tejadilho	4	00:12
9	Fixar Painéis à Chanca	2	01:03
10	Furar/Rebitar Tejadilho aos Painéis Laterais	2	00:48
<b>Montagem da Traseira</b>			<b>01:54</b>
11	Retificar patilhas e primeira nos contatos da Estrutura Traseira aos Painéis	1	00:13
12	Colocar as patilhas para fixação na Estrutura Traseira	1	00:04
13	Colocar c/ Ponte a Traseira ao restante corpo (Painéis e Tejadilho)	2	00:13
14	Colocar restantes patilhas para fixação da Estrutura Traseira ao restante corpo c/ parafusos	2	01:24
<b>Montagem de Monte Partes</b>			<b>05:13</b>
15	Colocar/Soldar tubo de apoio para chapa (em frente ao blind direito)	1	00:13
16	Retirar viga de suporte à fixação da porta da frente (já vem c/ painel direito)	1	00:01
17	Colocar/Soldar Estrado da rampa de entrada porta da frente (c/ medidas da porta verificadas)	1	00:41
18	Fixar/Soldar chapa de proteção na frente do blind frontal direito	1	00:22
19	Retirar viga de suporte à fixação da porta traseira (já vem c/ painel direito)	1	00:02
20	Colocar fixadores inferiores das laterais da porta ao estrado central (c/ medidas da porta)	1	00:41
21	Soldar chapas de proteção na traseira do blind dos pneus frontais (c/ duas placas de reforço)	1	00:51
22	Furar/Rebitar perfis em alumínio aos painéis + apoio na zona inferior p/evitar deslizar	1	00:55
23	Soldar barra de apoio do estrado traseiro ao estrado central (à esquerda da porta traseira)	1	00:11
24	Colocar/Soldar estrutura na parte de trás do blind direito mais chapa de proteção	1	01:16
<b>Verguinhas, Fios e Isolamentos</b>			<b>07:31</b>
25	Furar no chassi (zona lateral/interior do blind esquerdo) e colocação de um Tubo para passar fios	1	00:14
26	Soldar verguinhas de apoio à passagem dos fios no Estrado Traseiro	1	00:22
27	Passar fios de reboque nos Painéis Laterais - Subcontratação (Mnac)	1	00:11
28	Colocação de Tubos Hidráulicos de Alimentação e Retorno do óleo	1	01:03
29	Passar/Encurtar Tubos Pneumáticos para suspensão e direção	1	02:54
30	Aplicar calças de fixação para os Tubos Pneumáticos	1	00:52
31	Preparar o Motor do AC	1	00:52
32	Encaixe dos Balões de Ar	1	00:25
33	Isolamentos interiores na zona superior dos Painéis Laterais - Subcontratação (RibeiroBus)	1	00:38
<b>Saída de Unidade</b>			<b>00:19</b>
34	Saída de unidade	4	00:09
35	Limpeza do posto	4	00:10
		<b>Total de Tempos:</b>	<b>19:58</b>
		s/ Intervenção Mecânica	13:62
		s/ Subcontratação	13:08
		Tempos de Espera	4 00:67
		Paragem Prod.	4 00:30
NOTA: Este documento é para ser anexado ao processo da unidade			

Figura 37 – Exemplo de Macro Tarefas e respetivas Micros Tarefas

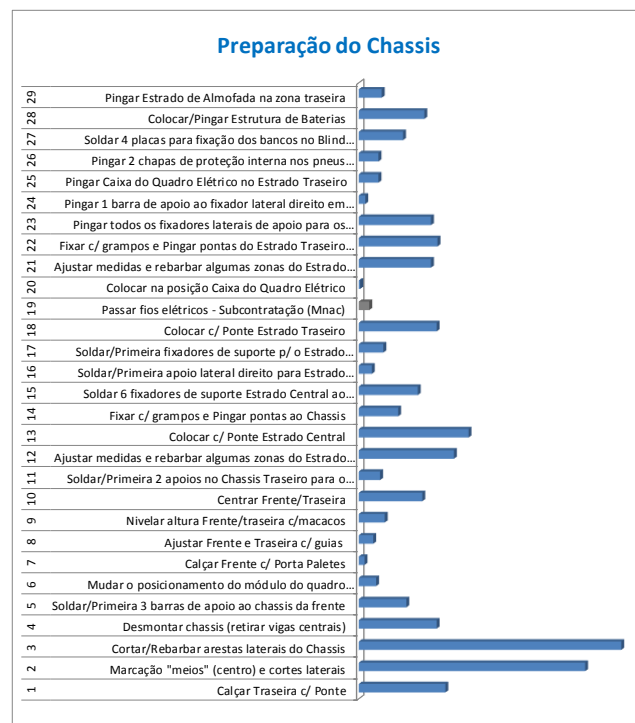
Como exemplo do trabalho realizado apresenta-se em seguida uma análise ao Posto 0 com enfoque na Macro - Preparação do Chassi.



G02.00.2

**Preparação do Chassis** 21:21:48 *Nota:* Sem contabilizar a Desmontagem Parte Elétrica  
5:20:27

Nº Oper.	Tempo	Tarefa
4	01:06	1 Calçar Traseira c/ Ponte
2	02:52	2 Marcação "meios" (centro) e cortes laterais
2	03:20	3 Cortar/Rebarbar arestas laterais do Chassis
2	00:59	4 Desmontar chassis (retirar vigas centrais)
1	00:36	5 Soldar/Primeira 3 barras de apoio ao chassis da frente
1	00:13	6 Mudar o posicionamento do módulo do quadro elétrico
1	00:04	7 Calçar Frente c/ Porta Paletes
2	00:11	8 Ajustar Frente e Traseira c/ guias
2	00:19	9 Nivelar altura Frente/traseira c/macacos
2	00:48	10 Centrar Frente/Traseira
1	00:16	11 Soldar/Primeira 2 apoios no Chassis Traseiro para o Estrado Central
2	01:12	12 Ajustar medidas e rebarbar algumas zonas do Estrado Central
4	01:23	13 Colocar c/ Ponte Estrado Central
2	00:30	14 Fixar c/ grampos e Pingar pontas ao Chassis
1	00:45	15 Soldar 6 fixadores de suporte Estrado Central ao Chassis
1	00:10	16 Soldar/Primeira apoio lateral direito para Estrado Traseiro
1	00:18	17 Soldar/Primeira fixadores de suporte p/ o Estrado Traseiro ao Chassis
3	00:59	18 Colocar c/ Ponte Estrado Traseiro
1	00:08	19 Passar fios elétricos - Subcontratação (Mnac)
1	00:01	20 Colocar na posição Caixa do Quadro Elétrico
2	00:55	21 Ajustar medidas e rebarbar algumas zonas do Estrado Traseiro
2	01:00	22 Fixar c/ grampos e Pingar pontas do Estrado Traseiro ao Chassis
2	00:55	23 Pingar todos os fixadores laterais de apoio para os Painéis Laterais
1	00:05	24 Pingar 1 barra de apoio ao fixador lateral direito em frente à roda frontal
1	00:15	25 Pingar Caixa do Quadro Elétrico no Estrado Traseiro
1	00:15	26 Pingar 2 chapas de proteção interna nos pneus traseiros
1	00:33	27 Soldar 4 placas para fixação dos bancos no Blind frontal direito
2	00:50	28 Colocar/Pingar Estrutura de Baterias
2	00:17	29 Pingar Estrado de Almofada na zona traseira



**Figura 38** - Análise de tempos das Micro -Tarefas – Posto 0, Preparação de Chassis

Com esta análise identificam-se as Micro-Tarefas com maiores consumos de tempo. Estas operações mais críticas foram alvo de melhorias e otimizações de processo.

## 5.7. Sequenciamento de tarefas por posto

De forma a otimizar o fluxo de produtivo, redefiniram-se as sequências de algumas Micro Tarefas, sempre tendo em consideração as restrições de precedência. Outras Micro Tarefas conseguiram realizar-se ao mesmo tempo (em paralelo) evitando tempos de paragem de operadores e diminuindo os tempos totais (*work content*)

Linha de Estruturas - Secção 4002 - A66				
Posto	Horas	Macro-Tarefas	Tarefas principais	Micro-Tarefas
G02.00.2	06:40:00	Entrada do chassi	Verificação do Chassis - Qualidade	
			Deslocação Unidade	
		Preparação do Chassi	Desmontar Chassis	Calçar Traseira c/ Ponte
				Desmontar Parte Elétrica - Subcontratação (Mnac)
				Marcação dos "meios" (centro) e cortes laterais
				Cortar/Rebarbar arestas laterais
				Desmontar/Cortar vigas centrais
			Pingar 3 barras de apoio ao chassis da frente	
			Mudar o posicionamento do Módulo Elétrico (Traseira)	
			Alinhar Chassis Frente/Traseira	Calçar Frente c/ Porta paletes
				Separar/Ajustar Frente e Traseira com guias (c/ medidas do Estrado Central)
				Nivelar altura Frente/Traseira c/ macacos
				Centrar Frente c/ a Traseira
				Soldar 2 apoios no chassis traseiro
			Montagem do Estrado Central (Aço Galvanizado)	Desempenar
				Rebarbar as partes a soldar
				Colocar c/ Ponte Estrado na posição central
				Fixar c/ grampos e Pingar pontas ao Chassis
				Soldar/Primeira 6 fixadores de suporte do Estrado ao Chassis
			Montagem do Estrado Traseiro (Aço Galvanizado)	Pingar apoio lateral direito para Estrado Traseiro
				Soldar/Primeira 2 fixadores de suporte do Estrado ao Chassis
				Colocar c/ Ponte Estrado na posição traseira
				Passar fios elétricos - Subcontratação (Mnac)
				Desempenar
				Rebarbar as partes a soldar
				Fixar c/ grampos e Pingar pontas ao Chassis
				Soldar duas chapas de proteção interna nos pneus traseiros
			Pingar todos os fixadores laterais de apoio para os Painéis Laterais	
			Pingar 1 barra de apoio ao fixador lateral direito em frente à roda frontal	
			Montagem da Caixa do Quadro Elétrico (Alumínio) - Subcontratação (RibeiroBus)	Colocar o isolamento para proteção - Subcontratação (RibeiroBus)
				Pingar Caixa do quadro Elétrico no Estrado Traseiro
			Soldar 4 placas para apoio de fixação p/ bancos na parte inferior da Blindagem do pneu frontal direito	
			Colocar Estrutura de Baterias (Aço Galvanizado)	Vem com chapa empenada
			Montagem do Estrado Almofada (Aço Galvanizado) - Subcontratação (RibeiroBus)	Colocar o isolamento para proteção
				Pingar Estrado Almofada na posição traseira
		Soldaduras Finais / Pinturas Primárias	Estrado Almofada/Chassi/Estrado Traseiro	
			Estrado Traseiro/Estrado Central/Estrado de Baterias	
			Placas de Fixação dos Estrados aos Painéis Laterais e restantes elementos pingados	
		Saída de Unidade		
		Limpeza do Posto		

**Figura 39** - Exemplo de Tarefas sequenciadas posto 0

## 5.8. Diagrama de Gantt

O método mais comum de sequenciamento de operações é através da utilização do gráfico de Gantt. Este é um gráfico simples que representa o tempo como em barras.

Para o *tack time* objetivo definiram-se Tarefas por Operador de forma a e sequenciar as operações das respectivas Macros com recurso ao Diagrama de Gantt. Esta análise permitiu uma representação visual simples do que deve acontecer nas operações. Além disso, possibilitou testar cenários alternativos em função de diferentes *tack times*.

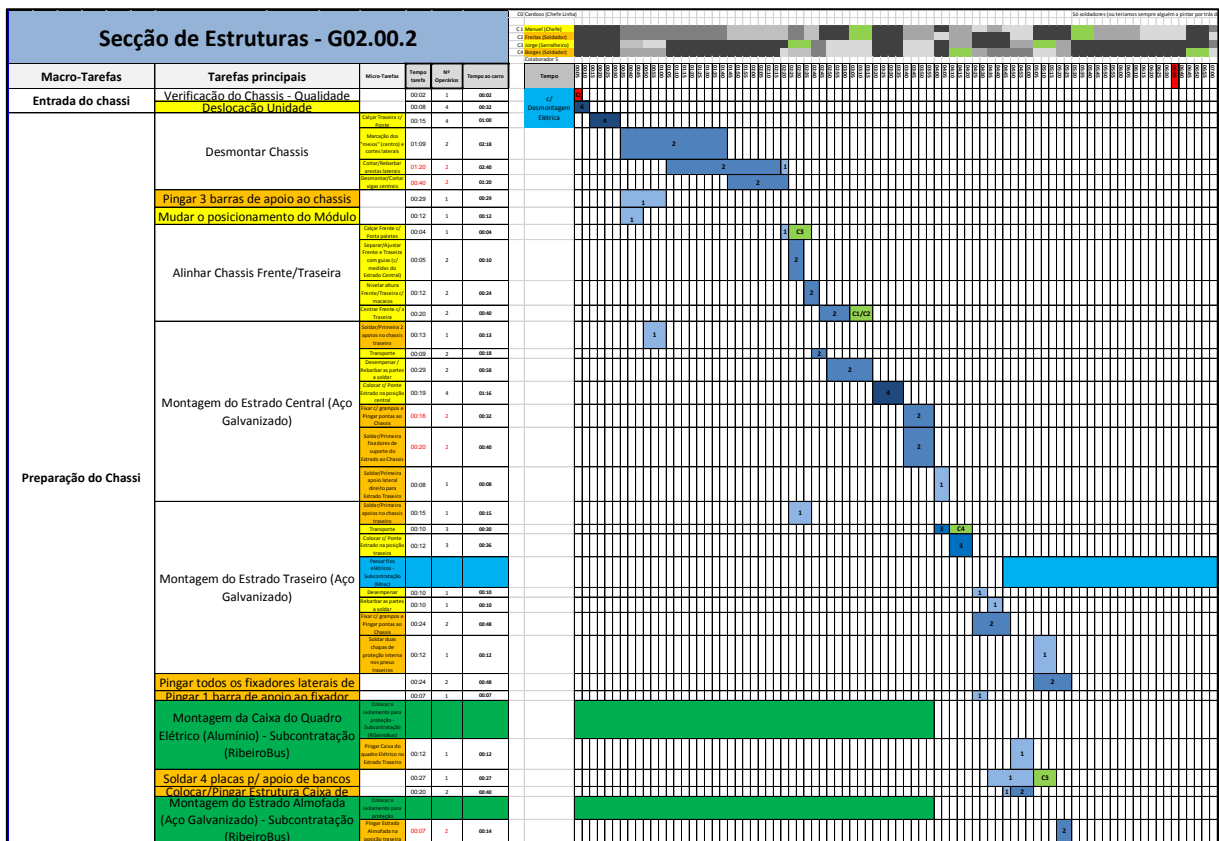


Figura 40 – Exemplo de Diagrama de Gantt - Posto 0

## 5.9. Descrição de tarefas por operador

Depois da construção do diagrama de Gantt o sequenciamento de tarefas por operador é facilitado.

WP	Task Description	Task Time (0:00:00)	Type (a,b,c,d)	Total Time	WP Tot.
Op1	Deslocação da Unidade	0:10:00		0:10:00	
Op1	Calçar Traseira c/ Ponte	0:15:00		0:25:00	
Op1	Marcação dos "meios" (centro) e cortes laterais	1:10:00		1:35:00	
Op1	Desmontar/Cortar vigas centrais	0:40:00		2:15:00	
Op1	Separar/Ajustar Frente e Traseira com guias (c/ medidas do Estrado Central)	0:05:00		2:20:00	
Op1	Nivelar altura Frente/Traseira c/ macacos	0:15:00		2:35:00	
Op1	Centrar Frente c/ a Traseira	0:20:00		2:55:00	
Op1	Descanso	0:15:00		3:10:00	
Op1	Colocar c/ Ponte Estrado na posição central	0:20:00		3:30:00	
Op1	Soldar/Primeira fixadores de suporte do Estrado ao Chassis	0:20:00		3:50:00	
Op1	Transporte	0:10:00		4:00:00	
Op1	Colocar c/ Ponte Estrado na posição traseira	0:15:00		4:15:00	
Op1	Desempenar	0:10:00		4:25:00	
Op1	Rebarbar as partes a soldar	0:10:00		4:35:00	
Op1	Colocar/Pingar Estrutura Caixa de Baterias (Aço Galvanizado)	0:20:00		4:55:00	
Op1	Pingar todos os fixadores laterais de apoio para os Painéis Laterais	0:25:00		5:20:00	
Op1	Descanso	0:15:00		5:35:00	
Op1	Estrado Almofada/Chassi/Estrado Traseiro	0:30:00		6:05:00	
Op1	Estrado Traseiro/Estrado Central/Estrado de Baterias	0:30:00		6:35:00	
Op1	Placas de Fixação p/ os Painéis Laterais e restantes elementos pingados	0:15:00		6:50:00	
Op1	Saída de Unidade	0:05:00		6:55:00	
Op1	Limpeza do Posto	0:05:00		7:00:00	7:00:00
Op2	Deslocação da Unidade	0:10:00		0:10:00	
Op2	Calçar Traseira c/ Ponte	0:15:00		0:25:00	
Op2	Marcação dos "meios" (centro) e cortes laterais	1:10:00		1:35:00	
Op2	Desmontar/Cortar vigas centrais	0:40:00		2:15:00	
Op2	Separar/Ajustar Frente e Traseira com guias (c/ medidas do Estrado Central)	0:05:00		2:20:00	

Figura 41 - Exemplo de Sequenciamento de tarefas por operador - Posto 0



## 5.10. Aplicação do método Yamazumi

Um gráfico Yamazumi é um gráfico de barras empilhadas que mostra o equilíbrio de cargas de trabalho no tempo de ciclo entre um número de operadores numa linha de montagem ou célula de trabalho – Método Yamazumi.

Através da das tarefas por operador faz-se gerar a partir da criação de uma Macro um gráfico Yamazumi para visualizar a o equilíbrio da sequência das tarefas.

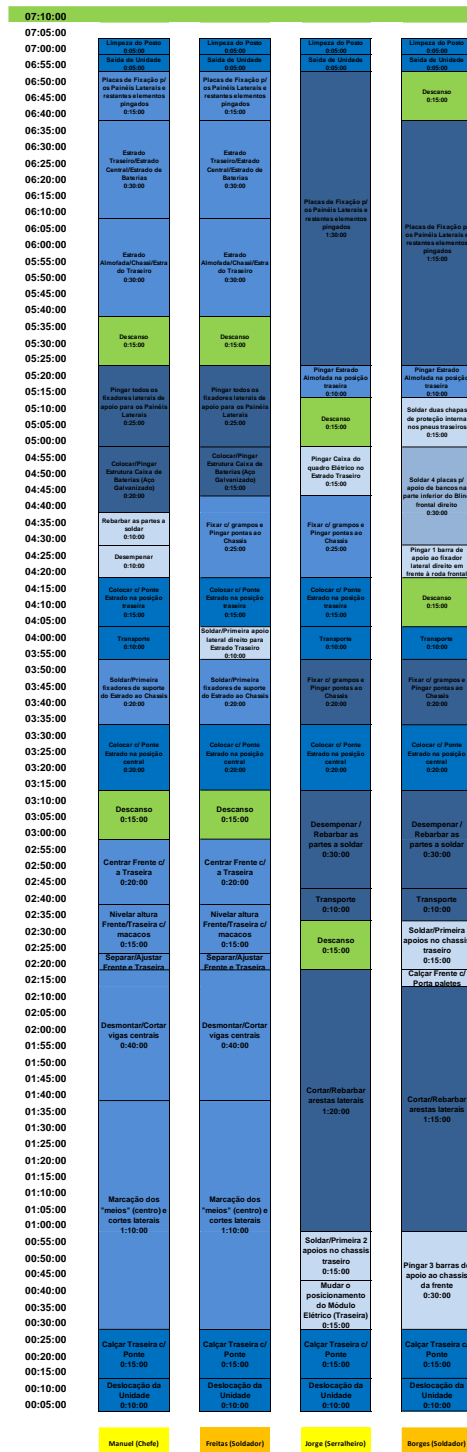


Figura 42- Exemplo de aplicação do método yamazumi no posto 0

## 5.11. Análise de tempos

Na Análise dos diferentes cenários possíveis verificou-se que o cenário teórico mais eficiente seria o *takt* de 6h40m com a produção de 6 unidades por semana com 90,5% de eficiência máxima. Contudo, este cenário iria exigir um esforço maior dos operadores em alguns postos e poderia correr-se o risco de não se conseguir manter o ritmo de trabalho previsto ao longo da produção das 88 unidades. Tendo em consideração a variabilidade elevada de tempos nos diferentes postos, para a exequibilidade desta alternativa poderia otimizar-se as micro tarefas de forma a uniformizar a distribuição de tempos pelos postos de trabalho. No entanto e tendo em consideração a necessidade de implementação imediata da solução mais viável, optou-se por implementar nas 3 linhas de montagem o balanceamento para o *takt* de 8h00 com a produção de 5 unidades por semana com uma eficiência máxima de 89,2%.

Outra situação em análise foi a possibilidade de se realizar algumas operações com a unidade levantada – 7 postos de trabalho ou sem a unidade levantada - 6 postos de trabalho. Nesta análise verificou-se uma perda de eficiência para qualquer um dos diferentes *takts* possíveis, a opção de incluir um posto de trabalho com a unidade levantada, isto é, a linha de produção com 7 postos de trabalho.

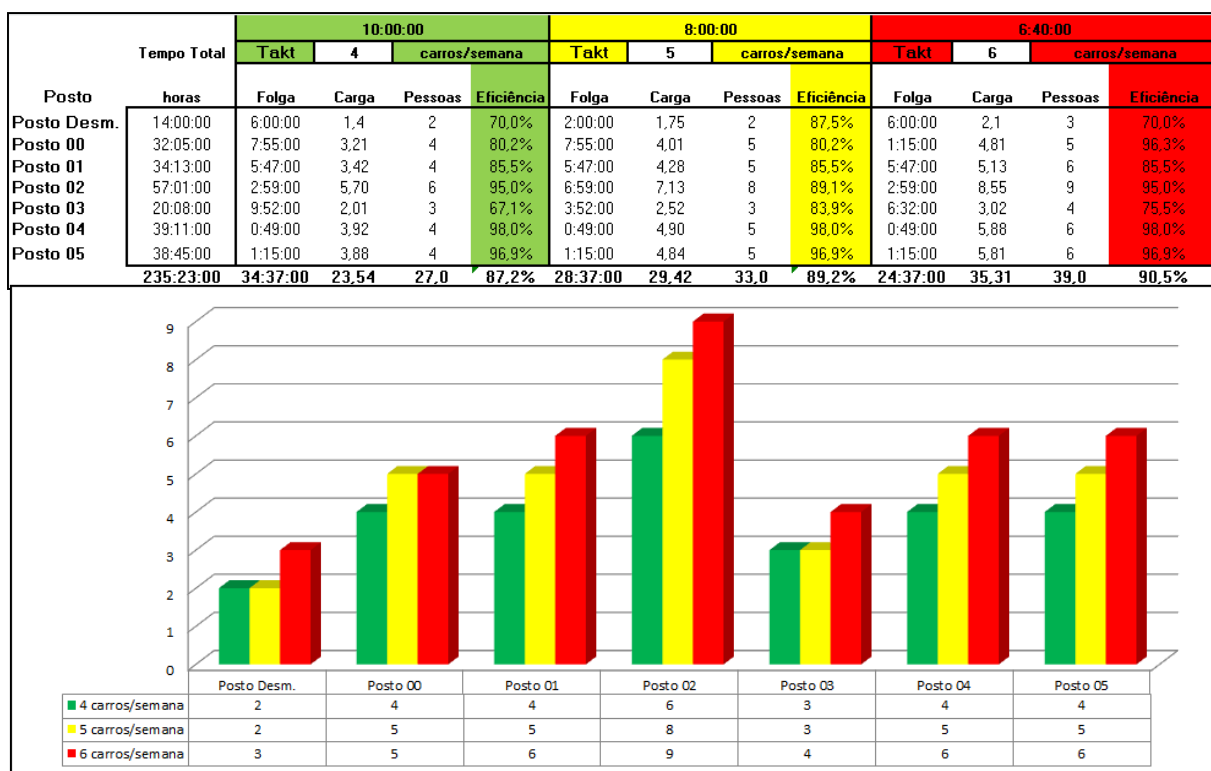


Figura 43 - Análise de tempos sem a unidade levantada

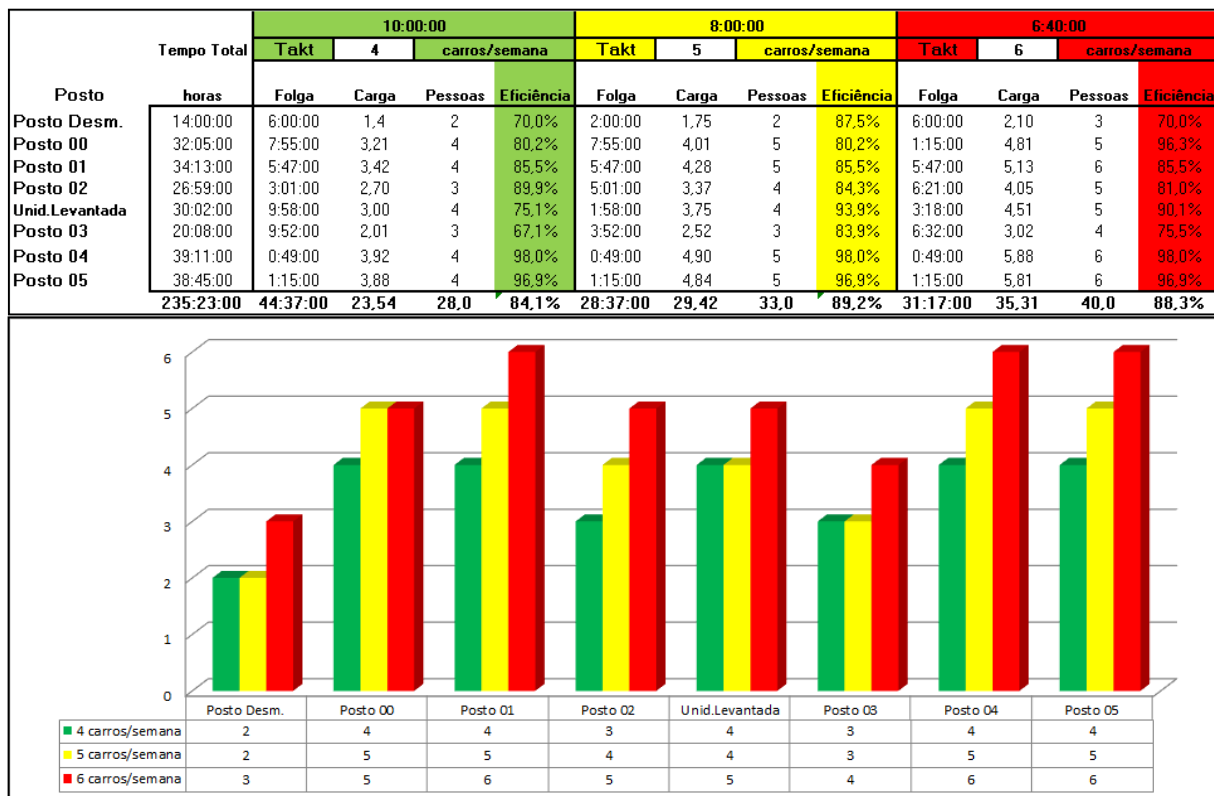


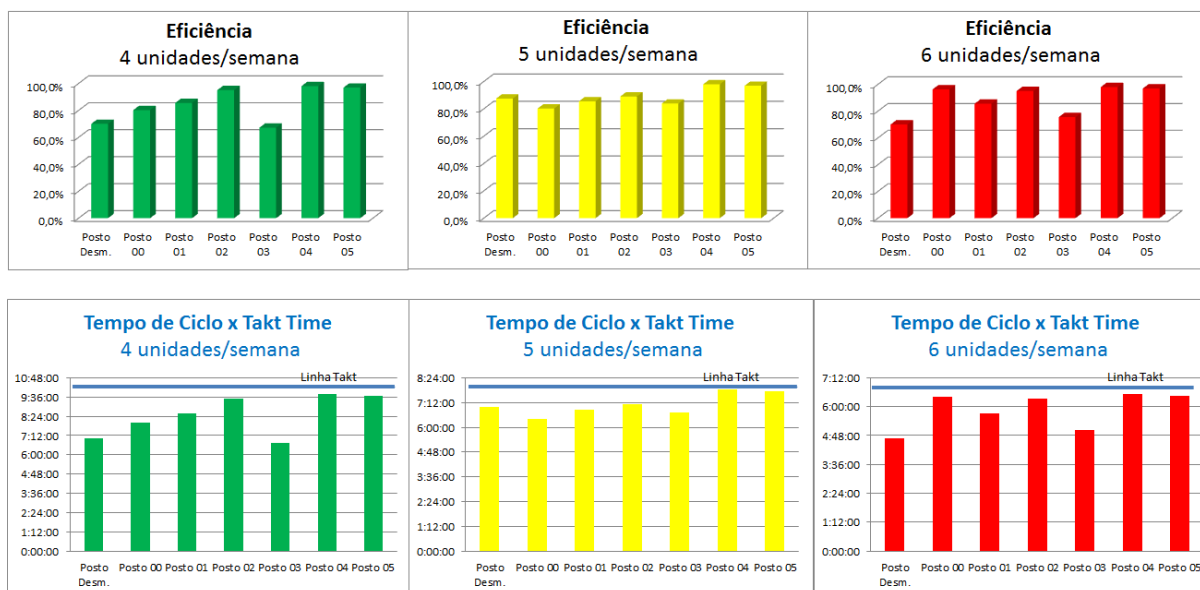
Figura 44 - Análise de tempos com unidade levantada

## 5.12. Método Lean

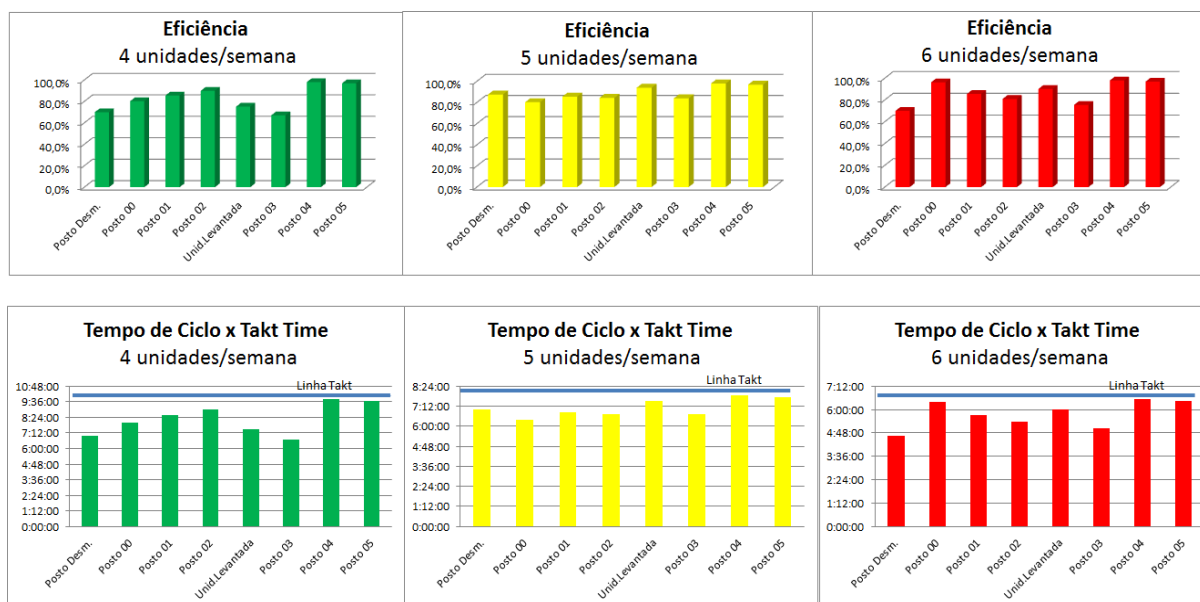
Pelo método Lean compara-se o tempo de ciclo e o *takt time* definido pela procura.

Nesta análise verifica-se que o cenário mais estável é a produção de cinco unidades por semana independentemente de se tratar da linha de produção com 6 ou 7 postos de trabalho.

No entanto, como se verificou que a eficiência é maior com 6 postos (sem a unidade levantada) optou-se por implementar o balanceamento para o *takt* de 8h00 a 5 unidades por semana em 6 postos de trabalho. Os tempos de folga foram utilizados para tarefas 5 S.



**Figura 45 Méthodo Lean sem a Unidade levantada – 6 Postos de Trabalho**



**Figura 46 - Méthodo Lean com a Unidade levantada – 7 Postos de Trabalho**

### 5.13. Projetos de melhoria Contínua

O projeto de tese foi desenvolvido num contexto de produção de múltiplos produtos em pequenas séries, dos quais resultam, como se verifica, sistemas produtivos com inúmeros “gargalos” e pouco balanceados (produção acumulada em determinadas operações de montagem). Neste sentido e dadas as restrições de capacidade (nº de operadores), de tempo (*takt time* definido pela necessidade do cliente), de organização e sequenciamento das macros tarefas, todo o trabalho desenvolvido focou-se na melhoria, eliminação de operações sem valor acrescentado e balanceamento das micro tarefas (OOP) que constituíam cada macro, em todos

os postos da secção de estruturas e chapeamento, eliminando-se desta forma as operações gargalo.

O Plano de Melhorias foi desenvolvido em paralelo com o balanceamento da linha de montagem, para melhoria da eficiência da Linha de Montagem de Estruturas e Chapeamento.

Paralelamente à fase de recolha de tempos e operações e análise de tempos e métodos foi constituído um plano de ações, baseado na metodologia PDCA.

As análises das oportunidades de melhoria (eliminação de operações sem valor acrescentado) identificadas seguiram métodos de análise estruturada de problemas e foram acompanhadas em reuniões interdepartamentais com uma frequência semanal.

Apresentam-se três exemplos de ações implementadas no posto G02.00.2 – identificado como o *Bottleneck* da secção de Estruturas e Chapeamento e outras melhorias implementadas nos postos 1 e 2 da Linha 2

Todas as ações de melhoria seguiram a mesma metodologia.

### 5.13.1. Projetos de Melhoria no Postos 0

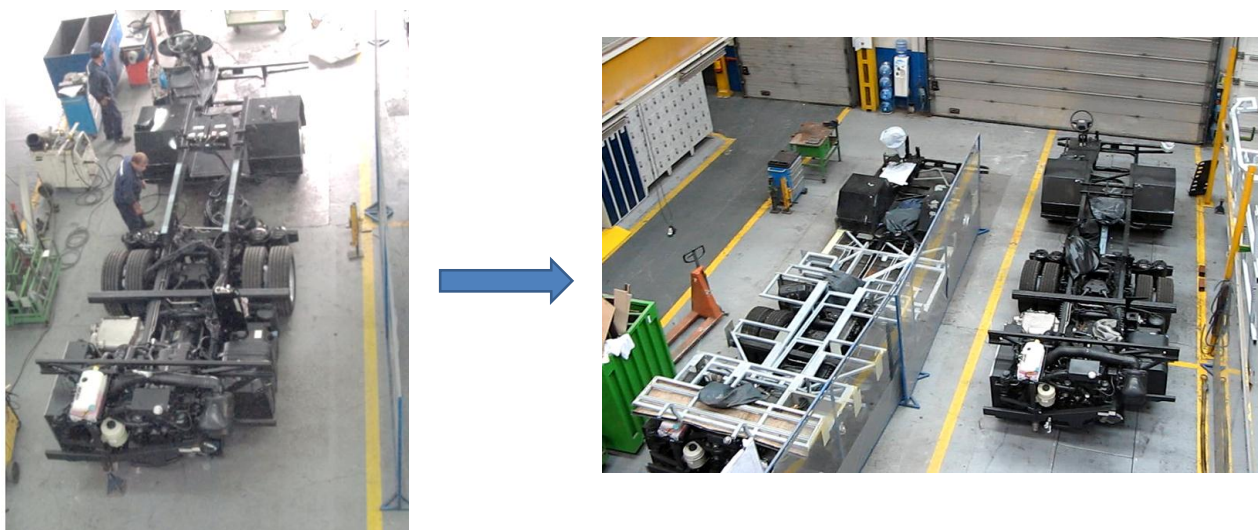
No posto G02.00.02, constatou-se que as principais dificuldades e consumo de tempo resultavam de:

- a) Falta de controlo do material desmontado e do seu armazenamento temporário;
- b) Não Conformidade nos chassis - alguns chassis foram entregues com o depósito de combustível diferente do especificado. As operações mecânicas de retificação aumentaram o tempo operacional no posto 0 pelo que houve necessidade de incluir mais um operador para compensar o tempo desperdiçado, de forma a ser possível concluir todas as operações mecânicas no posto de desmontagem do chassi.
- c) A Preparação do Chassi (Macro C)

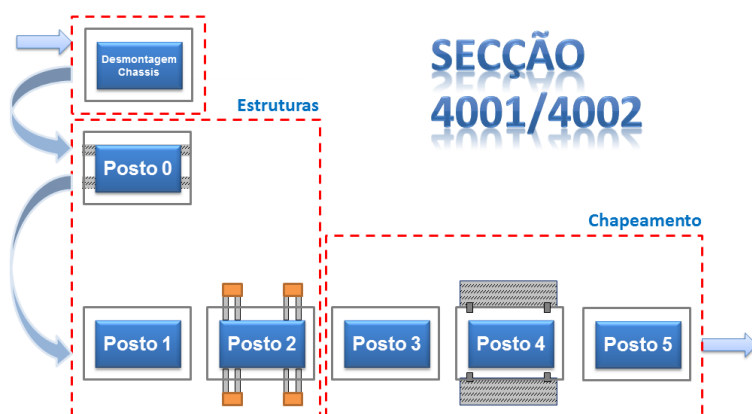
Para a problemática (a), no sentido de definir e controlar as ações para eliminar os problemas, foi elaborado um plano ações e definido um procedimento de trabalho (PD) com as operações a seguir acompanhada por uma *check list*, diferenciada por modelo para controlo do material desmontado e do seu armazenamento temporário.

Para correção da não conformidade (b) foi criada uma instrução de trabalho (IT) para a definir o processo de montagem dos depósitos de combustível que passaram a vir do fornecedor à parte dos chassis

Para a melhoria na Preparação do Chassi (c), numa primeira fase, anteciparam-se as intervenções anteriores a esta operação, e procedeu-se às operações de Desmontagem do Chassi (Macro B) num posto anterior, que se designou por Posto de Desmontagem do Chassis. Na sequência desta alteração, houve necessidade de alterar o *layout* da linha, incluindo um posto onde estas operações poderiam ser executadas por menos pessoas no mesmo takt time.



**Figura 47** – Posto de Desmontagem e Preparação de Chassis – Antes e Depois



**Figura 48** – Novo Layout da Linha 2 com a Desmontagem de Chassis

Com esta primeira intervenção, verificou-se uma melhoria na redução de tempo. Contudo, este posto continuava a ser o “gargalo” com um tempo de ciclo superior ao *takt* time definido

Numa segunda análise pelo método do maior tempo, após se constatar que o Nivelamento e Centragem do Chassi eram as operações críticas, foi realizada uma obra de nivelamento do chão do Posto 0 (ver figura 39).

Quando esta tarefa era executada a unidade encontrava-se sem nenhuma outra intervenção. Todos os outros operadores do posto encontravam-se parados (tempo de espera médio de 40m) sem possibilidade de poder a executar mais tarefas em paralelo.

Após análise, conclui-se que com esta obra se reduziu o tempo de espera, diminuído significativamente o tempo da operação, melhorando também a qualidade das operações precedentes. A obra passou pelo nivelamento do chão do Posto 0 (ver figura 40).

A melhoria da operação no Posto foi significativa, já que se reduziu no tempo de mão-de-obra das micro de quatro operadores em aproximadamente uma 60 minutos em “*paragens para afinações e regulações*”<sup>28</sup>.

Seção 02 Estruturas - Nivelamento da Linha 2/Posto 0			
<u>Custo total do investimento:</u> 2.280,00 €			
Preço mão de obra	25 €/hora		
Horas p/ homem	40 minutos		
Custo homem:	16,6667 €/hora/homem		
Custo unidade:	66,6667 €/unidade	→	(4 homens)
Total de unidades	95 unidades (A66)		
Ganhos só para o A66	6.333,33 €		
<u>Conclusão:</u> O possível investimento é rentabilizado na unidade 35			



**Figura 49** - Nivelção de Piso no Posto 0

## 5.13.2. Projetos de Melhorias no Posto 1

### a) Projeto de Melhoria nas chapas de aço

Implementaram-se melhorias, nas operações de fixação aos painéis laterais de quatro chapas de aço com perfis soldados, também em aço, para proteção lateral das rodas. Estas operações eram executadas na linha de montagem com retrabalhos associados. Foi elaborado um estudo aos tempos consumidos por essas tarefas e preparado um plano de ações para que fossem eliminados esses trabalhos na linha de montagem de estruturas. Anteciparam-se estas operações para a Secção de Pré-Montagem de Estruturas (4017). Os perfis passaram a ser soldados às chapas, antes do processo de metalização do conjunto, na pré-montagem dos painéis, retirando-

<sup>28</sup> Paragens para afinações e regulações, estão relacionadas com a conformidade dos produtos e são essencialmente paragens necessárias para a realização das regulações e afinações exigidas pelos critérios de qualidade.



se assim o tempo total das operações à linha de montagem de estruturas e melhorando-se a qualidade do processo.



**Figura 50** - Melhoria nas chapas de aço com perfis soldados (antes)



**Figura 51** - Melhoria nas chapas de aço com perfis soldados (depois)

#### **b) Projeto de Melhoria no Encapsulamento do motor com a unidade levantada**

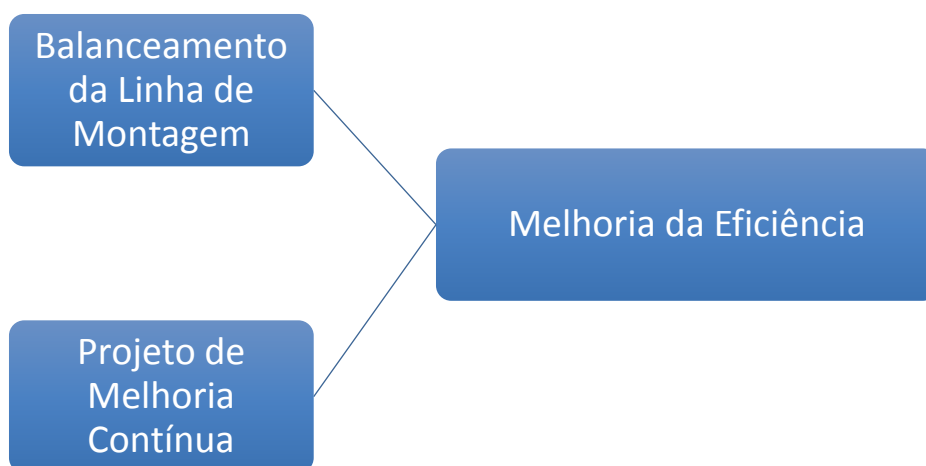
Foi elaborado um estudo de melhoria na operação mais crítica, Encapsulamento do Motor, com dois operadores inicialmente a executarem tarefas de pré-montagem já com a unidade levantada. A solução passou por estes operadores executarem a tarefa pré-montagem antes da unidade ser levantada pelos macacos hidráulicos. Balanceou-se assim a tarefa para ser executada numa banca em paralelo com outras operações. Esta operação consumia o tempo de dois operadores, pela marcação da furação ser executada com o encapsulamento já colocado na unidade. Era necessário, posteriormente ao encapsulamento realizar a marcação da furação. Os operadores tinham que retirar o encapsulamento para realizar a furação, procedendo de novo à sua montagem na unidade para realizar afinações e regulações. Esta operação foi otimizada, e



elaborou-se uma instrução de trabalho para documentar as alterações e garantir o procedimento definido.

## 5.14. Síntese de resultados

O principal objetivo deste projeto de dissertação foi melhorar a eficiência global da Linha de Montagem de Estruturas e Chapeamento de um autocarro urbano através de duas estratégias diferentes e complementares.



**Figura 52** - Estratégias utilizadas para aumento da eficiência

Para se conseguir alcançar esse objetivo o trabalho focou-se na eliminação das constrições identificadas no diagnóstico inicial:

- Pelo Balanceamento das operações eliminaram-se os postos de trabalho “gargalo” ou *botlenecks* pela redução dos tempos de espera e movimentações desnecessárias de operadores em algumas tarefas, eliminação de desperdício no transporte de materiais (por exemplo, materiais mal alocados – tempo gasto na procura dos materiais e transporte para o correto posto de montagem), eliminação ou diminuição do mau processamento pela eliminação ou redução de operações sem valor acrescentado ao processo.
- Pela implementação do Projeto de Melhoria Contínua reduziram-se tempos de operações mal executadas à primeira ou não definidas e eliminaram-se defeitos identificados que acrescentavam tempos e custos pelos retrabalhos exigidos

Neste sentido, o trabalho realizado focou-se sobretudo na melhoria do desempenho e melhoria da qualidade no processo produtivo da linha de montagem de estruturas e chapeamento de um autocarro urbano.

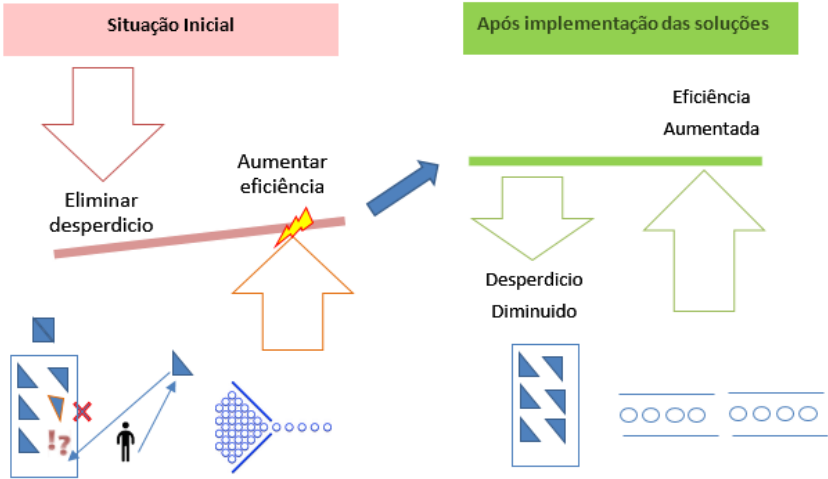


Figura 53 – Esquema Síntese dos Resultados

Inicialmente, com cinco postos de trabalho, a eficiência para o *takt time* de 8 horas era de 71,13%.

Nº de Postos	5	5	5	5	5	5
Tempo de Processamento	269:55:18	240:00:00	269:55:18	192:00:00	269:55:18	160:00:00
Takt Time	10:00:00	10:00:00	8:00:00	8:00:00	6:40:00	6:40:00
Tempo de Ciclo	53:59:04	48:00:00	53:59:04	38:24:00	53:59:04	32:00:00
Nº Colaboradores	26,99217	24	33,74021	24	40,48825	24
Nº Colaboradores / Posto	5,398433	4,8	6,748042	4,8	8,09765	4,8
Eficiência (Produtividade)	100,00%	88,91%	100,00%	71,13%	100,00%	59,28%
Folga		29:55:18		77:55:18		109:55:18

Figura 54 – Eficiência inicial

Após o balanceamento das operações para 6 postos (mais um, correspondente ao posto de desmontagem de chassi) e a implementação das melhorias no processo produtivo conseguiu-se uma eficiência 88,37%. A eficiência máxima não se conseguir atingir uma vez que houve uma restrição na capacidade.

Nº de Postos	7	7	7	7	7	7
Tempo de Processamento	235:23:00	173:20:00	235:23:00	208:00:00	235:23:00	260:00:00
Takt Time	6:40:00	6:40:00	8:00:00	8:00:00	10:00:00	10:00:00
Tempo de Ciclo	33:37:34	24:45:43	33:37:34	29:42:51	33:37:34	37:08:34
Nº Colaboradores	35,3	26	29,4	26	23,5	26
Nº Colaboradores / Posto	5,0	3,7	4,2	3,7	3,4	3,7
Eficiência (Produtividade)	100,00%	73,64%	100,00%	88,37%	100,00%	110,46%
Folga		62:03:00		27:23:00		

**Figura 55** – Eficiência Final

## 6. Conclusão e perspectivas futuras

A combinação de estratégias baseadas na Filosofia *Lean* e métodos de análise de tempos e operações para balanceamento da linha de produção mostraram-se eficazes no aumento da eficiência operacional na Linha de Montagem de Estruturas e Chapeamento.

Pela heurística do maior tempo balancearam-se as operações mais críticas, identificadas como os “gargalos” do processo produtivo e ao mesmo tempo implementaram-se melhorias no processo produtivo conseguindo-se um aumento da eficiência total de 14,36%.

Pelo método do balanceamento conseguiu-se um aumento da eficiência em 10,07% e pelos projetos de melhoria, um aumento de 4,29%.

**Tabela 2** - Síntese de Resultados

Método	% Aumento de eficiência
Balanceamento	10,07%
Projetos de Melhoria	4,29%
<b>Total</b>	<b>14,36%</b>

Na perspectiva da Melhoria Contínua, sempre que se otimiza ou se reduz o tempo operacional de uma dada operação ou processo, o tempo de ciclo passa a ser definido pela nova operação com o maior gasto de tempo e/ou recursos. Os processos podem ser sempre alvo de oportunidades de Melhoria. Mesmo que os tempos de ciclo não ultrapassem o tempo de ciclo definido pela procura (*tack time*), pelo método do balanceamento e a otimização contínua dos processos há sempre a possibilidade de redução de custos, e consequente aumento da eficiência como por exemplo pela redução da entrada de recursos na operação (diminuição do nº de postos, redução do nº de operadores).

Não se pode diferenciar eficiência de fluxo. Para um aumento significativo da eficiência global do processo produtivo do autocarro urbano A66 Bahrein, esta metodologia deverá ser aplicada às restantes operações – Pintura e Acabamentos.

Apesar de não fazer parte deste projeto de dissertação deu-se seguimento à continuação deste trabalho na Secção de Acabamentos.

## Referências

- Akao, Y. Hoshin Kanri. 1991. Policy Development for successful TQM. Productivity Press. Cambridge, MA.
- Amaro, A. P., and J. P. Pinto. 2007. "Criação de valor e eliminação de desperdícios." *Revista Qualidade 1*: 38-44.
- Bastos, Artur Jorge Alves de. 2012. "Implementação da ferramenta 8D em fornecedores de embalagens Bosch."
- Behrens, Bernd-Arno, Ingo Wilde, and Manfred Hoffmann. 2007. "Complaint management using the extended 8D-method along the automotive supply chain." *Production Engineering 1.1*: 91-95.
- Cane, Sheila,.1996. Kaizen strategies for winning through people: how to create a human resources program for competitiveness & profitability. Pitman,
- Chase, R. B., Aquilano, N. J., & Jacobs, F. R. 2001. Operations management for competitive advantage. Irwin/McGraw-Hill.
- Chatain, O. 2011. Value creation, competition, and performance in buyer-supplier relationships. *Strategic Management Journal*, 32(1), 76-102.
- Coimbra, E. A., 2009, Total Management Flow: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains. Kaizen Institute.
- Dal, B, Tugwell, P, & Greatbanks, R. Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement, 2000. A practical analysis. *International Journal of Operations & Production Management*
- De Mast, J., & Lokkerbol, J., 2012. An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 604-614.
- George, Michael, et al. 2005. "The lean six sigma pocket toolbox."
- Gurevsky, E., Battaia, O., & Dolgui, A. (2012). Balancing of simple assembly lines under variations of task processing times. *Annals of Operations Research*, 201(1), 265-286.
- Henry, J. R. 2012. Achieving Lean Changeover: Putting SMED to Work. CRC Press..
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. 2004. Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994-1011.
- Hines, P., & Rich, N. 1997. The seven value stream mapping tools. *International journal of operations & production management*, 17(1), 46-64.
- Hirano, H. 2009. JIT Implementation Manual--The Complete Guide to Just-In-Time Manufacturing: Volume 2--Waste and the 5S's (Vol. 2). CRC Press.
- IN, T. 2014. THE NATURE AND CONSEQUENCES OF TRADE-OFF. *Mis Quarterly*, 38(2), 379-406.

- Khalil, M. S., Khan, M. A., & Mahmood, T. 2006. Lean Six Sigma—A tool to improve productivity, quality and efficiency in manufacturing and industrial sector. In Official Conference of the International Association for Management Technology, PR China, Beijing (pp. 22-26).
- Kumar, C. S., & Panneerselvam, R. 2007. Literature review of JIT-KANBAN system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(3-4), 393-408.
- Melton, T. 2005. The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6), 662-673.
- Porter, M. E. 1996. What is strategy?. Published November.
- Taj, S. 2005. Applying lean assessment tools in Chinese hi-tech industries. *Management Decision*, 43(4), 628-643.
- Shingo, S. 1985. A revolution in manufacturing: the SMED system. Productivity Press.
- Shingo, S. 1996. O Sistema Toyota de Producao Do Ponto. Bookman.
- Shingo, S. 1986. Zero quality control: Source inspection and the poka-yoke system. Productivity Press.
- Sivasankaran, P., & Shahabudeen, P. 2014. 'Literature review of assembly line balancing problems', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 73, no. 9-12, pp. 1665-1694. Available from: 10.1007/s00170-014-5944-y. [26 November 2014].
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). Operations management. Pearson Education..
- Suzaki, K. 2010. Gestão de Operações Lean—Metodologias Kaizen para a melhoria contínua. *LeanOp*, 1ª Edição, Setembro de, 2010, 129-133.
- Teixeira, A. J., das Graças, A. J., de Oliveira Oliveira, S. M., Ferreira, W. G., Oliveira, Y. Y. H., Jardim, C. M. J., & Campos, K. S. C. 2012. METODOLOGIA 8D: Uma abordagem de Qualidade para a Resolução de Problemas. *Revista de Iniciação Científica da Universidade Vale do Rio Verde*, 2(2).
- Tolvanen, J. P. 1998. Incremental method engineering with modeling tools: theoretical principles and empirical evidence. University of Jyväskylä.
- Tsai, W., & Ghoshal, S. 1998. Social capital and value creation: The role of intrafirm networks. *Academy of management Journal*, 41(4), 464-476.
- Ulrich, Karl T. 2003, Product design and development. Tata McGraw-Hill Education
- Witcher, B., & Butterworth, R. 1999. Hoshin kanri: how Xerox manages. *Long Range Planning*, 32(3), 323-332.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. 1996. Beyond Toyota: how to root out waste and pursue perfection. *Harvard business review*, 74(5), 140.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. 2010. Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation. Simon and Schus

